

Treball de Fi de Grau

Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Estudi de l'elongació del nervi ciàtic a partir
d'ecografies**

MEMÒRIA

Autor: Elena Ribal Ribera
Director: Toni Susín Sánchez
Convocatòria: 10 2016



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

S'estudia el moviment del nervi ciàtic d'una persona lesionada a través d'uns vídeos on s'hi pot observar el moviment d'extensió-flexió del turmell. Per situar el lector s'acompanya el treball d'una petita introducció de la ciàtica i del nervi ciàtic, explicant-ne l'origen més comú i les conseqüències que pot arribar a tenir en la vida de les persones que la pateixen.

En la mateixa direcció i per tal d'arribar a les òptimes conclusions, s'introdueix en el treball un resum de quin ha estat el procediment seguit per l'elaboració del mateix, el qual consta de les etapes bàsiques d'un bon procés estadístic: recol·lecció, organització i anàlisi de la informació i interpretació dels resultats.

Tots els càlculs i observacions es realitzen mitjançant el software MATLAB, que és una eina molt útil pel tractament i processament d'imatges. Durant el treball es dona molta informació tant de l'aspecte com del funcionament d'aquest programari: s'explica la metodologia bàsica pel processament d'imatges, quines són les funcions i transformacions bàsiques que s'utilitzen per a l'estudi del moviment del nervi i quina és la classe i tipologia d'imatges amb la qual es pot treballar.

També apareixen les funcions i scripts que s'han creat durant el projecte i que permeten automatitzar la cerca del moviment del nervi considerablement. Aquestes funcions i scripts són imprescindibles per entendre la metodologia emprada per a la resolució del treball. Amb aquestes funcions primer es retalla les imatges (també anomenades frames durant el document) per tal que continguin només informació del nervi. Després s'escull un punt d'origen p que serveix de referència. A partir d'aquest punt es crea una subimatge del vídeo d'unes dimensions concretes (A: 20x20, B: 30x30 o C: 40x40 píxels) que es pot comparar amb una altra subimatge que provingui del frame posterior. Per exemple la imatge s'anomenarà A10 si és de dimensió 20x20 i s'extreu del frame 10. El que es farà doncs és buscar una subimatge del frame següent (seguint amb l'exemple serà A11), que s'assembli el màxim possible a la subimatge original A10. D'aquesta manera es pot conèixer quin ha estat el moviment d'aquest punt p escollit entre els frames 10 i 11. Aquest procediment s'aplica als frames més rellevants per a la cerca del moviment.

Per arribar al coneixement del moviment del nervi es realitza el tracking (seguiment d'un punt al llarg d'un vídeo) per diversos punts del vídeo i s'arriba a la conclusió que el nervi es mou cap a la dreta durant l'extensió del turmell. Es fan també càlculs concrets de desplaçaments i velocitats per tal de detallar encara més com és el moviment i es conclou que la realització del treball no només és útil per a l'estudi del nervi ciàtic sinó que també es pot extrapolar a l'estudi de vídeos del mateix àmbit.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	2
1. INTRODUCCIÓ	6
1.1. Antecedents del projecte	6
1.2. Objectius del projecte	7
1.3. Abast del projecte	8
2. CONCEPTES TEÒRICS	9
2.1. Breu introducció de la ciàtica i del nervi ciàtic	9
2.1.1. La ciàtica.....	9
2.1.2. El nervi ciàtic.....	9
2.1.3. Ecografies.....	10
2.2. Imatge digital.....	11
2.2.1. Processament d'imatges en MATLAB.....	13
2.2.1.1. Classes d'imatges.....	14
2.2.1.2. Tipus d'imatges.....	14
2.2.1.3. Transformacions bàsiques.....	15
2.2.1.4. Funcions bàsiques	16
2.3. Tècniques estadístiques emprades.....	17
2.3.1. Recol·lecció d'informació	17
2.3.2. Organització de la informació	18
2.3.3. Anàlisi de la informació	18
2.3.4. Interpretació de resultats	19
3. PROCEDIMENTS I ACCIONS REALITZADES	20
3.1. Nomenclatura per a la identificació d'imatges.....	20
3.2. Vídeos de l'extensió del turmell.....	22
3.3. MATLAB	23
3.3.1. Scripts i funcions.....	23
3.3.1.1. LoadEcografia.....	23
3.3.1.2. CrossCorrelation	26
3.3.1.3. TrobaMatriu.....	29
3.3.1.4. PuntVermell	33

4. RESULTATS	35
4.1. Primers resultats	35
4.1.1. Subimatge A	35
4.1.2. Subimatge B	36
4.1.3. Subimatge C	36
4.1.4. Conclusions	37
4.2. Segons resultats	38
4.2.1. Subimatge A	39
4.2.2. Subimatge B	40
4.2.3. Subimatge C	40
4.2.4. Conclusions	42
4.3. Resultats finals (vídeo 1)	43
4.3.1. PUNT INICIAL: VP458	44
4.3.1.1. Subimatges A	44
4.3.1.2. Subimatges B	46
4.3.1.3. Subimatges C	47
4.3.1.4. Conclusions	48
4.3.2. PUNT INICIAL: VP436	49
4.3.2.1. Subimatges A	50
4.3.2.2. Subimatges B	51
4.3.2.3. Subimatges C	52
4.3.2.4. Conclusions	53
4.3.3. PUNT INICIAL: NX428	53
4.3.3.1. Subimatges A	53
4.3.3.2. Subimatges B	55
4.3.3.3. Subimatges C	56
4.3.3.4. Conclusions	57
4.4. Resultats finals (vídeo 2)	58
4.4.1. PUNT INICIAL XK350	58
4.4.1.1. Subimatges A	58
4.4.1.2. Subimatges B	60
4.4.1.3. Subimatges C	61
4.4.1.4. Conclusions	62

4.4.2. PUNT INICIAL PN365	62
4.4.2.1. Subimatges A.....	63
4.4.2.2. Suimatges B.....	64
4.4.2.3. Subimatges C	65
4.4.2.4. Conclusions	66
CONCLUSIONS	67
BIBLIOGRAFIA.....	69
Referències bibliogràfiques.....	69
GLOSSARI	71
5. ANNEX	73
5.1.1. Resultats finals (vídeo 1)	73
5.1.1.1. PUNT INICIAL: VP458.....	73
5.1.1.1.1.....Subimatges A	73
5.1.1.1.2.....Subimatges B	73
5.1.1.1.3..... Subimatges C	74
5.1.1.2. PUNT INICIAL: VP436.....	75
5.1.1.2.1.....Subimatges A	75
5.1.1.2.2.....Subimatges B	75
5.1.1.2.3..... Subimatges C	76
PUNT INICIAL: NX428	77
5.1.1.2.4.....Subimatges A	77
5.1.1.2.5.....Subimatges B	78
5.1.1.2.6..... Subimatges C	79
5.1.2. Resultats finals (vídeo 2)	79
5.1.2.1. PUNT INICIAL: XK350.....	79
5.1.2.1.1.....Subimatges A	80
5.1.2.1.2.....Subimatges B	80

5.1.2.1.3.....	Subimatges C	81
5.1.2.2. PUNT INICIAL: PN365.....		81
5.1.2.2.1	Subimatges A	81
5.1.2.2.2	Subimatges B	82
5.1.2.2.3	Subimatges C	82

1. Introducció

El treball que es presenta a continuació estudia el comportament del **nervi ciàtic** a partir del moviment **d'extensió-flexió del turmell** d'una persona, observant quin és el recorregut que va realitzant el nervi i calculant quina és el desplaçament longitudinal que succeeix.

Aquest moviment es visualitza a partir de vídeos d'**ecografies** reproduïts amb el software **MATLAB**, eina amb la qual es realitzen la majoria dels càlculs i s'extreuen les principals conclusions. Durant el document es mencionen algunes funcions que s'utilitzen per tal de fer més entenedor el procediment seguit.

El MATLAB és un entorn de computació numèrica i un llenguatge de programació creat per la companyia MathWorks. S'utilitza per a l'aprenentatge automàtic, processament de senyals, **processament d'imatges** (bàsic per a la resolució d'aquest treball), visió artificial, comunicacions, finances computacionals, disseny de control, robòtica i molts altres camps.

La plataforma està optimitzada per a resoldre problemes d'enginyeria i problemes científics. El llenguatge de MATLAB, basat en matrius, és la forma més natural per a expressar les matemàtiques computacionals. Els gràfics integrats faciliten la visualització de les dades i l'obtenció d'informació a partir d'ells i una gran llibreria de toolboxes preinstal·lades li permeten començar a treballar immediatament amb algorismes essencials pel seu domini. Tots els càlculs del treball provenen d'una ecografia d'una persona lesionada visualitzada amb aquest software.

1.1. Antecedents del projecte

El projecte ve motivat per l'estudi portat a terme per F. Ellis, A. Hing i J.Mcnair (2012, p. 667-675). L'objectiu del seu estudi és determinar si diferents tipus d'exercicis de mobilització estan associats a diferents desplaçaments longitudinals del nervi ciàtic. Apunten que una recent investigació centrada en l'extremitat superior de persones sanes ha demostrat que els desplaçaments dels nervis difereix significativament entre els diferents tipus d'exercici de mobilització neuronal. El seu projecte tracta doncs d'examinar la influència de mobilització neuronal en l'**extremitat inferior**, calculant el desplaçament del nervi ciàtic durant el moviment d'extensió de la columna vertebral, el moviment d'extensió de genoll i el moviment simultani de les dues extensions. Els resultats que obtenen en l'estudi conclouen que pels diferents moviments el desplaçament longitudinal del nervi varia de la següent manera:

- Desplaçament durant l'extensió cervical: 0,1 mm.

- Desplaçament durant l'extensió de genoll: 2,6 cm.
- Desplaçament durant l'extensió simultània de cervical i genoll: 3,2 cm.

Per tant el moviment que involucra més el nervi és el moviment d'extensió simultània de cervical i genoll, amb un desplaçament de **3,2 cm**.

Degut a l'anàlisi realitzada per F. Ellis et.al es creu necessari estudiar el comportament del nervi en l'extremitat inferior durant l'execució d'un altre moviment neuronal, que aportí informació contrastada del desplaçament ocorregut. Com ja s'ha comentat el moviment que s'estudia en el treball és l'extensió de turmell, continuant així amb la investigació de les extremitats inferiors. És important comentar que els resultats que s'obtinguin en el present treball s'hauran de comparar amb els obtinguts en l'estudi de F. Ellis et.al per comprovar que el procediment seguit ha estat l'adequat.

Un altre aspecte que ha motivat la realització del treball és la importància la tecnologia en el món de la medicina, on qualsevol avenç pot comportar una millora dràstica en la vida de les persones. Aquests darrers anys han vingut marcats per grans descobriments que els experts s'han encarregat d'aplicar en la pràctica de la medicina, i tot i que els avenços han sigut molt importants, encara hi ha marge de millora. Dins d'aquest àmbit de la investigació en la medicina, les imatges digitals tenen un paper molt important ja que són bàsiques per a la detecció, diagnòstic o examinació de malalties.

1.2. Objectius del projecte

El treball que es presenta a continuació pretén seguir l'estudi de F. Ellis et.al, aportant la influència del moviment d'extensió-flexió del turmell i conèixer així quins són els moviments que comprometen més el nervi ciàtic.

Concretament el projecte es centra en l'estudi de diferents punts dels vídeos amb que es disposa, i dels quals s'extrauen les conclusions de desplaçament total del nervi ciàtic. Segons A. Dilley, J. Greening, B. Lynn, R. Leary i V. Morris (2001, p. 1211-1218), mesurar el desplaçament longitudinal dels nervis permet un anàlisi de la compressió que pateixen (per exemple localitzar i determinar l'extensió de la restricció del nervi) i, d'aquesta manera, establir el millor tractament per als pacients.

Un altre objectiu important és fer possible la visualització del moviment calculat mitjançant el software MATLAB i aprofitar al màxim les funcionalitats que presenta l'eina. Aquesta visualització es realitza mitjançant un polsador o marca sobre els vídeos d'estudi i pretén ser una ajuda per facilitar la comprensió dels resultats del treball.

1.3. Abast del projecte

Pel que fa a l'abast del projecte el que es vol aconseguir és poder automatitzar el procés de cerca del moviment del nervi ciàtic, fent-lo apte també per a la cerca de moviment d'altres vídeos de les mateixes característiques.

Per poder adoptar el procediment del treball a altres estudis cal que les funcions que es creïn siguin el més genèriques possibles i que l'explicació que les acompanyi sigui fàcilment comprensible.

2. Conceptes teòrics

2.1. Breu introducció de la ciàtica i del nervi ciàtic

2.1.1. La ciàtica

El terme ciàtica descriu els símptomes de dolor de cama (i possiblement formigueig, adormiment o debilitat) que comencen en la part inferior de l'esquena i passen pels glutis i el nervi ciàtic major en la part posterior de la cama.

Tal i com explica P. Maslo en el seu llibre (2001,p. 48), el tipus de dolor es defineix pel seu trajecte, que pot ser de dues classes: el dolor parteix sempre de la zona inferior de l'esquena però escull un camí extern passant per la part posterior del maluc, la part externa de la cuixa i de la cama per acabar al peu, o segueix un camí posterior, passant per darrere del gluti, la cuixa, el genoll, el panxell i el peu. Aquests dos trajectes del dolor són diferents, ja que el patiment del nervi ciàtic pot ser degut a una compressió de dues arrels nervioses diferents: la que emergeix de la medul·la espinal a nivell de l'articulació entre la tercera i la quarta vèrtebres lumbars, i la que emergeix a nivell de la cinquena vèrtebra lumbar, en la seva articulació amb la primera vèrtebra sacra. Aquestes dues arrels s'ajunten seguidament per formar el nervi ciàtic; per aquesta raó, aquests dos dolors es classifiquen en el mateix registre.

Hi ha una gran diferència entre el pacient que pateix de forma intermitent per un reduït dolor de la natja i el que, víctima d'una compressió aguda d'una arrel, ha de ser operat d'urgència.

2.1.2. El nervi ciàtic

També segons Maslo (2001, p.50), el nervi ciàtic és un dels més llargs del cos humà i és normal que els seus problemes siguin freqüents. Nombrosos moviments, de cames sobretot, exerceixen un constant estirament sobre el nervi, fet que es pot apreciar amb els vídeos amb els que es treballa. Les arrels del nervi parteixen de la medul·la espinal allà on radiquen la majoria dels dolors d'esquena, en la part inferior de les lumbars, tractant-se d'una circumstància suplementària que fa del nervi ciàtic l'objecte de tots els desequilibris raquidis.

2.1.3. Ecografies

L'ecografia és una prova mèdica que fa servir ultrasons d'alta freqüència, permetent que una màquina compongui imatges internes del cos. En incidir aquests ultrasons sobre els diferents teixits es produeix un eco que es tradueix en imatges.

Entre els avantatges més rellevants de les ecografies destaca que és una prova en temps real i que per tant permet observar en viu els moviments dels teixits, els òrgans interns, veure la sang circulant o els moviments dels intestins.

Com ja s'ha comentat les ecografies utilitzen els ultrasons per a poder visualitzar les imatges internes. Aquesta tècnica utilitza ones de so de freqüència elevada inaudible per als humans, és a dir superiors a 20.000 Hz.

El procediment seguit per a poder extreure les imatges és resumidament el següent:

1. La màquina d'ultrasons transmet polsos d'alta freqüències al cos mitjançant una sonda.
2. Les ones de so viatgen a través del cos i xoquen contra els límits entre els teixits.
3. Algunes de les ones de so es reflecteixen i tornen a la sonda, mentre d'altres segueixen viatjant fins que tornen a trobar un límit i es reflecteixen.
4. Les ones reflectides són captades per la sonda i retransmeses a la màquina.
5. La màquina calcula la distància des de la sonda fins al teixit de l'òrgan usant la velocitat del so en els teixits i el temps de retorn de cadascun dels ecos.
6. La màquina visualitza la distància i intensitats dels ecos en la pantalla, formant una imatge bidimensional.

En una ecografia usual, milions de polsos i ecos s'envien i es reben cada segon. La sonda es pot moure per la superfície del cos i canviar l'angle de contacte per tal d'obtenir diferents vistes i visualitzar amb més precisió l'àrea en qüestió.

En el cas que es tracta en aquest treball l'ecografia està enfocada en la visualització del nervi ciàtic.

2.2. Imatge digital

El tractament d'imatges és una part fonamental d'aquest treball i és per aquest motiu que es creu necessari realitzar una petita introducció en aquest camp.

Una imatge digital o gràfic digital és una representació bidimensional d'una imatge a partir d'una matriu numèrica, freqüentment en binari (uns i zeros). Depenent de si la resolució de la imatge és estàtica o dinàmica, pot tractar-se d'una imatge matricial (mapa de bits) o d'un gràfic vectorial. El **mapa de bits** és el format més utilitzat en informàtica i és una estructura o fitxer de dades que representa una reixeta rectangular de píxels, anomenada ràster, que es pot visualitzar en un monitor d'ordinador, paper o un altre dispositiu de representació. Té un nombre finit de valors digitals, com ja s'ha esmentat, anomenats **píxels**. La imatge digital conté un nombre fixe de files i columnes de píxels, que són els elements individuals més petits i controlables d'una imatge en una pantalla i contenen el valor de brillantor d'un color donat en un punt específic.

En els dispositius gràfics cada píxel es codifica mitjançant un conjunt de bits d'una longitud determinada i com major sigui aquesta longitud, més profunditat i informació de color tindrà. A mode d'exemple, un píxel pot codificar-se mitjançant un byte (8 bits), de manera que cada píxel admet fins a 256 variacions de color (2^8 possibilitats binàries) de 0 a 255. En imatges de millor qualitat normalment s'utilitzen tres bytes (24 bits) per definir el color d'un píxel i per tant es poden arribar a representar 2^{24} colors.

Per a poder visualitzar, guardar i processar la informació numèrica representada en cada píxel, s'ha de conèixer a més de la profunditat i brillantor del color, el **model de color** que s'utilitza.

Els models de color són models matemàtics abstractes que descriuen la manera com els colors poden ser representats per una llista ordenada de nombres, típicament amb tres o quatre valors. Quan el model està associat a una descripció precisa de com els components han de ser interpretats, el conjunt de colors resultant s'anomena **espai de color**. Dins d'aquest espai de referència, el subconjunt de colors representat és també un espai de colors però més limitat i es denomina gamma. Se sap que es pot generar una gran gamma de colors per mitjà de mescla additiva dels colors primaris: vermell, blau i verd.

Resumidament, els models de colors associen un vector numèric a un element en un espai de color. Segons el portal de Colorotate i la Universitat de Madrid (Grupo de Ingeniería Gráfica, *El color*), els models més utilitzats són:

1. Model de color RGB

Fa referència a la composició del color en termes de les intensitats dels colors primaris amb què es forma: **vermell** (red), **verd** (green) i **blau** (blue). Es basa en la síntesi additiva amb la que és possible representar un color mitjançant la barreja per addició dels tres colors llum primaris. Cal dir que el model RGB per si mateix no defineix els colors i, per uns mateixos valors RGB, es poden mostrar colors diferents en diversos dispositius que usin aquest model ja que els seus espais de color poden variar.

El color s'expressa com un triple valor (r,g,b), on cada component pot variar des de zero fins a un nombre màxim definit (depenent de la longitud del píxel). Si tots els components són zero el resultat és negre; si tots els components es troben en el màxim, el resultat és el blanc més brillant representable. El vermell seria (255, 0, 0), el verd (0, 255, 0) i el blau (0,0, 255). El conjunt de tots els colors es pot representar en forma de cub, on cada color és un punt de la superfície o de l'interior d'aquest. L'**escala de grisos** és la diagonal que uneix el blanc i el negre i és una escala utilitzada en la imatge digital en la qual cada píxel posseeix un valor equivalent a la graduació de gris. Aquest valor porta només informació d'intensitat de llum i varia des del negre d'intensitat més dèbil (representat pel 0) fins al blanc més fort (representat per l'1).

2. Model de color CMYK

A diferència del model RGB, aquest és un model sostractiu que s'utilitza per a la impressió en color. Permet representar una gamma de colors més ampla i té una millor adaptació als medis industrials.

Es basa en una mescla de pigments de color **cian** (Cyan), **magenta** (Magenta), **groc** (Yellow) i **negre** (Black) per a obtenir-ne d'altres. S'usa "K" en comptes de B per evitar confondre el negre amb el blau.

El model treballa barrejant colors en un fons normalment blanc i se'n diu sostractiu perquè la tinta redueix la llum o brillantor d'aquest fons blanc. En oposició al model RGB, la total combinació dels colors resulta negre i el blanc és el color natural del paper o fons. Per estalviar cost en la tinta i per a produir tonalitats negres més profundes, els colors foscos es produeixen mitjançant tinta negra enlloc de la combinació de cian, magenta i groc.

3. Model tradicional de coloració

Model també anomenat **RYB** (Red, Yellow, Blue), és un model de coloració que permet obtenir una ampla gama de colors a partir únicament de tres colors primaris: vermell, groc i blau. Amb la barreja simple entre ells s'obté els colors secundaris: taronja, verd i lila.

2.2.1. Processament d'imatges en MATLAB

El processament d'imatges és un mètode per convertir una imatge a una forma digital i transformar-la mitjançant algunes operacions per tal d'aconseguir una imatge millorada o per extreure'n informació útil. Per poder conèixer més sobre el software s'ha visitat el portal de Mathworks on es pot trobar molta informació al respecte:

El processament d'imatges és una transformació d'un input a un output, on l'input és una imatge, un vídeo format per frames o fotografies i l'output pot ser una imatge o característiques associades a aquesta imatge. En el cas que es treballa l'input és un vídeo format per diferents frames i l'output són les imatges transformades de tal manera que es pugui treballar amb elles.

Aquestes transformacions, com ja s'ha comentat, es produeixen amb el MATLAB, un software que incorpora un conjunt d'eines de processament d'imatge (Image Processing Toolbox). Aquestes eines són una col·lecció de funcions que permeten manipular, tractar i processar imatges i seqüències d'imatges.

El tipus de dades estàndard en les operacions en MATLAB són les matrius i en el tractament d'imatges també ho són. Les imatges es representen amb matrius on cada element correspon a un únic píxel de la imatge visualitzada. Per exemple, una imatge formada per 200 files i 300 columnes de diferents punts de color s'emmagatzema en una matriu 200x300.

Aquest fet fa que treballar amb imatges sigui similar a treballar amb qualsevol altre tipus de dades i d'aquesta manera es puguin utilitzar comandes comuns tal com la selecció d'un píxel:

```
>> Aorig(3,5)
```

MATLAB retornaria el valor emmagatzemat a la fila 3 i columna 5 de la imatge Aorig. Per tant es pot afirmar que l'amplada de la imatge és igual al nombre de columnes de la matriu i que l'alçada és igual al nombre de files.

A continuació es presenten els diferents tipus d'imatge i es donen detalls d'algunes operacions que cal aplicar en aquest treball.

2.2.1.1. Classes d'imatges

En MATLAB es pot treballar amb tres classes d'imatges numèriques:

- Doble precisió (**double**)
- Enters sense signe de 16 bits (**uint16**)
- Enters sense signe de 8 bits (**uint8**)

Per defecte la majoria de dades són de la classe double. Les dades d'aquestes matrius s'emmagatzemen com nombres de doble precisió (64 bits).

Tot i així, per les imatges que s'utilitzen en arxius gràfics aquesta classe no és sempre la ideal. El nombre de píxels d'aquestes imatges pot ser molt gran i això requeriria massa memòria. Per tal de reduir els requeriments de memòria, es poden emmagatzemar les dades de les imatges en matrius de classe uint8 i uint16, on les dades es guarden com enters sense signe de 8 o 16 bits.

2.2.1.2. Tipus d'imatges

A partir de la informació recopilada tant de la Universitat Politècnica de Catalunya com del portat Mathworks (*Image Processing Toolbox*) i de la Universitat de Girona (*Anàlisi i processament d'imatges*), es resumeix que en MATLAB es pot treballar amb el següent tipus d'imatges:

- **Imatges RGB**

Una imatge qualsevol té tres plans i en cadascun d'ells es guarda informació corresponent al color vermell, verd i blau (RGB).

En MATLAB separar les components resulta molt senzill gràcies a que les imatges es tracten com matrius. Per exemple si es volgués conèixer les components vermella, verda i blava del píxel (10,5), s'executaria `RGB(10,5,1)`, `RGB(10,5,2)`, `RGB(10,5,3)` respectivament.

- **Imatges binàries**

Són imatges en blanc i negre i cada píxel té assignat un valor lògic (0 o 1). Per convertir una imatge a binària es pot utilitzar la següent comanda:

```
BW = im2bw(I, level)
```

L'output BW reemplaça tots els píxels de la imatge *I* amb intensitat superior a *level* amb el valor 1 (blanc) i tots els altres píxels amb valor 0 (negre).

- Imatges indexades

Una imatge indexada consisteix en una matriu de dades *x* i una matriu *map* que és un mapa de colors.

Aquesta matriu *map* té una dimensió de *m* files i 3 columnes i conté valors en el rang [0,1]. Cada fila d'aquesta matriu conté les components vermella, verda i blava d'un sol color.

El color de cada píxel de les imatges indexades es determina utilitzant el corresponent valor de *x* com un índex en el mapa. Per exemple si en la matriu *x* es té el valor 5 en una posició, voldrà dir que en aquell píxel es troba el color guardat en la fila 5 de la matriu *map*. Per tant és obvi que tots els valors de *x* han de ser nombres enters.

- Imatges d'intensitat

Una imatge d'intensitat és una matriu de dades on els seus valors representen intensitats dins un rang. Aquestes imatges es representen amb una sola matriu, on cada element correspon a un píxel de la imatge. La matriu pot ser de classe double, uint8 o uint16.

Per visualitzar una imatge d'intensitat s'utilitza la funció `imagesc`, que permet especificar el rang d'intensitat desitjat. La funció `imagesc` visualitza la imatge relacionant el primer valor del rang a la primera entrada de la intensitat desitjada i el segon valor del rang a l'última entrada.

Les imatges d'intensitats més freqüents són les escales de grisos i un exemple per visualitzar-les seria el següent:

```
imagesc(Aorig,[0 1]); colormap(gray);
```

2.2.1.3. Transformacions bàsiques

A continuació es presenten un seguit de transformacions bàsiques que s'utilitzen en MATLAB, les quals han sigut útils alhora de realitzar el treball ja que les imatges emprades requerien d'aquestes transformacions:

- `im2uint8`: de qualsevol tipus a uint8
- `im2double`: de qualsevol tipus a double.

- im2bw: de qualsevol tipus a binària.
- rgb2gray: de RGB color a intensitat.

2.2.1.4. Funcions bàsiques

A continuació es presenten un seguit de funcions útils alhora de treballar amb les imatges:

- imread: llegeix la imatge d'un arxiu.
- imwrite: escriu la imatge en un arxiu.
- imfinfo: retorna informació sobre la imatge.
- imshow: visualitza la imatge per pantalla
- colorbar: visualitza una barra de colors
- image: crea i visualitza un objecte imatge
- imagesc: escala i visualitza la imatge

En el codi de les funcions que s'han creat durant el projecte es presenten algunes d'aquestes funcions bàsiques. Es poden veure en el punt [3.3.1. Scripts i funcions](#) del document.

2.3. Tècniques estadístiques emprades

Per l'elaboració d'aquest treball l'estadística resulta ser molt important per a la veracitat dels resultats obtinguts, ja que és una eina molt útil per a reduir els possibles errors que es cometien alhora de treballar amb les dades de les imatges.

L'estadística és una ciència que ostenta en les seves bases una forta presència i acció de les matemàtiques i que principalment s'ocupa de la recol·lecció, anàlisi i interpretació de dades obtingudes en un estudi. Una de les principals característiques de l'estadística és que es tracta d'una ciència transversal i funcional en una gran varietat de disciplines que la utilitzen per entendre algunes de les seves qüestions (Lipschutz i Schiller, p. 257-269).

L'estadística es divideix en dues branques: l'estadística descriptiva i la inferència estadística. La primera s'ocupa dels mètodes de recol·lecció, visualització i resum de les dades que es volen estudiar. Aquest tipus d'estadística resumeix les dades que recol·lecta numèrica o gràficament i el seu objectiu és descriure les característiques principals de les dades obtingudes. Per altra banda, la inferència estadística es dedica a la generació dels models, inferències i prediccions associades als fenòmens en estudi tenint en compte la aleatorietat de les observacions. El seu objectiu és extreure conclusions d'utilitat sobre el total d'aquestes observacions possibles basant-se en la informació obtinguda.

En el cas que ocupa aquest treball s'utilitzen conceptes tant de l'estadística descriptiva com de la inferència estadística i en aquest apartat s'expliquen conceptes que s'usen en el capítol de resultats i conclusions.

El procés estadístic consta d'unes etapes establertes que permeten arribar a les conclusions de manera òptima. Aquestes etapes, resumides i ordenades segons l'ordre de realització del treball, són les següents:

2.3.1. Recol·lecció d'informació

El primer pas en un estudi estadístic és definir l'objectiu al qual es vol arribar i formular el problema que es vol solucionar, delimitant-lo i formulant-lo adequadament. Un cop tot està definit de forma precisa entra en joc la recol·lecció de dades. Aquestes dades s'obtenen d'observacions reals i es poden obtenir a partir de bancs de dades o entrevistes, a partir d'observació directa o mesures experimentals.

En aquest treball les dades numèriques s'obtenen de forma directa a partir dels vídeos amb que es treballa i per tant entren dins la categoria d'observacions reals.

2.3.2. Organització de la informació

Organitzar la informació consisteix en ordenar-la, filtrar-la eliminant els possibles errors i tabular-la mitjançant la utilització de quadres o taules on es resumeixen les dades d'acord a l'interès específic de l'investigador.

Com que en aquest projecte es treballa amb un gran nombre de dades, l'organització d'aquestes és molt important. Alguns dels mètodes que s'usen són els següents:

- Creació d'un elevat nombre de taules i gràfics per tal d'arribar a les conclusions finals (es poden trobar en [l'Annex](#) d'aquest treball).
- Utilització del paquet ofimàtic Microsoft Office que incorpora un sistema gestor de base de dades i permet tractar-les còmodament. La utilització d'aquest paquet és fàcilment combinable amb el software MATLAB.
- Definició d'una nomenclatura pròpia que facilita la identificació de les múltiples imatges que es creen ([3.1. Nomenclatura per a la identificació d'imatges](#)). Aquestes imatges es diferencien principalment per la seva dimensió que pot ser de 20x20, 30x30 i 40x40 píxels.

2.3.3. Anàlisi de la informació

L'anàlisi de dades és un procés d'inspeccionar, netejar i transformar dades amb l'objectiu de ressaltar informació útil, el que suggereix conclusions i recolzament per a la presa de decisions.

Mitjançant paràmetres es pot resumir la gran quantitat de dades que poden derivar de l'estudi. El càlcul d'aquests números està definit mitjançant una fórmula aritmètica i en aquest treball els principals paràmetres que s'utilitzen són aquells que pertanyen a la categoria de mesures de posició (com la mitjana i la mediana) i a la categoria de mesures de dispersió (com la desviació tipus).

Degut a la seva importància es creu convenient calcular-ne els paràmetres més importants (segons Fernández en *Mediana, Media, Moda, Varianza y Desviación estandar*):

- Mitjana:

La mitjana en estadística es troba sumant tots els nombres i dividint per la quantitat de números que han sigut sumats.

- **Mediana:**

La mediana estadística és el número central d'un grup de números ordenats per dimensió. Si la quantitat de termes és parell, la mediana és la mitjana dels dos nombres centrals.

- **Variància:**

Aquesta mesura ens permet identificar la diferència mitjana que hi ha entre cada un dels valors respecte al seu punt central. Aquesta mitjana és calculada elevant cada una de les diferències al quadrat, amb la finalitat d'eliminar els signes negatius y calculant la seva mitjana: és a dir, sumant tots els quadrats de les diferències de cada valor respecte la mitjana i dividint el resultat per el nombre total d'observacions que es tinguin.

- **Desviació tipus:**

Aquesta mesura ens permet determinar la mitjana aritmètica de fluctuació de les dades respecte al seu punt central o mitjana. La desviació estàndard ens dona com a resultat un valor numèric que representa la mitjana de diferència que hi ha entre les dades i la mitjana. Per a calcular la desviació estàndard només cal trobar l'arrel quadrada de la variància.

2.3.4. Interpretació de resultats

Consisteix en la fase final de l'estudi i determinarà si la solució trobada és adequada o no depenent dels resultats obtinguts. El que es fa és estudiar aquests paràmetres calculats en la fase d'anàlisi i d'aquesta manera determinar si els resultats són creïbles.

En aquest treball la interpretació de resultats permetrà diferenciar, per exemple, entre la informació obtinguda per imatges de dimensió 20x20, 30x30 i 40x40, definint quines són les semblances i diferències que comporta que les imatges tinguin més o menys píxels.

3. Procediments i accions realitzades

En aquest apartat s'explica amb detall el procediment seguit per a l'estudi del moviment del nervi ciàtic aplicant els coneixements teòrics explicats.

El conjunt de l'explicació es realitzarà de la forma més amena possible: s'utilitzen imatges que facin més entenedor el procediment seguit, es crea una nomenclatura que permeti diferenciar totes les subimatges emprades i s'expliquen algunes de les funcions i comandes que s'executen en MATBLAB.

3.1. Nomenclatura per a la identificació d'imatges

El primer que es fa alhora de començar la resolució del projecte és la creació d'una nomenclatura que permeti diferenciar les imatges i treballar amb més agilitat.

Tot i que encara no s'ha esmentat com es crearan aquestes subimatges, és necessari realitzar primer l'explicació pertinent de la utilització de la nomenclatura, ja que sinó el procediment serà més difícil de comprendre.

La nomenclatura en qüestió està formada per tres caràcters: una lletra en la primera posició seguida de dos nombres enters. A continuació es detalla la informació que aporta cada posició:

- **Primera posició:**

En aquesta posició s'escriu una lletra que indica el nombre de píxels de la subimatge. Les possibles dimensions són:

A: imatges de 20x20 píxels.

B: imatges de 30x30 píxels.

C: imatges de 40x40 píxels.

- **Segona posició:**

En aquesta posició es detalla el frame del qual pertany la subimatge i per tant indica el moment a partir del qual s'ha extret. Per exemple si en aquesta posició es té un 1, vol dir que la imatge és la inicial. Si en canvi es troba un 2 s'estarà referint a la subimatge del frame número 2.

- Tercera posició:

En aquesta posició s'indica on es troba la subimatge respecte la imatge original, que en la figura 3.1 es troba de color groc. Aquesta tercera posició per tant només té sentit si la imatge no correspon al frame inicial (en la segona posició no hi ha un 1).

Possibles nombres que es poden trobar en la tercera posició:

- 1: Imatge situada a dalt a l'esquerra.
- 2: Imatge situada a dalt a la dreta.
- 3: Imatge situada a baix a l'esquerra.
- 4: Imatge situada a baix a la dreta.

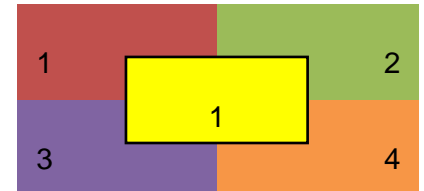


Figura 3.1: Explicació de la tercera posició de la nomenclatura.

En el següent exemple es vol explicar amb més claredat el funcionament d'aquesta nomenclatura:

Exemple: A21

Primera posició: A. Imatges de dimensions 20x20 píxels.

Segona posició: 2. Subimatges corresponents al frame 2.

Tercera posició: 1. Imatges que es troben a dalt a l'esquerra respecte el píxel inicial (correspondria a la subimatge vermella de la figura 3.1).

3.2. Vídeos de l'extensió del turmell

En aquest projecte es disposa de dos vídeos per a l'obtenció d'informació del nervi ciàtic. En el primer vídeo es pot veure com el nervi només es desplaça cap a una direcció i en canvi en el segon vídeo el moviment primer va en una direcció i després en la contrària.

Els vídeos estan format per un total de 119 imatges successives o frames. A continuació es pot observar la primera imatge del primer vídeo (figura 3.2), que serà una de les imatges amb la que es treballarà en un primer moment.

Per tal de poder arribar a uns resultats satisfactoris i fàcilment comprovables, es busca en el vídeo zones característiques on sigui més fàcil visualitzar el moviment del nervi i realitzar posteriorment el tracking dels punts (és a dir seguir el moviment d'aquests punts al llarg dels vídeos).

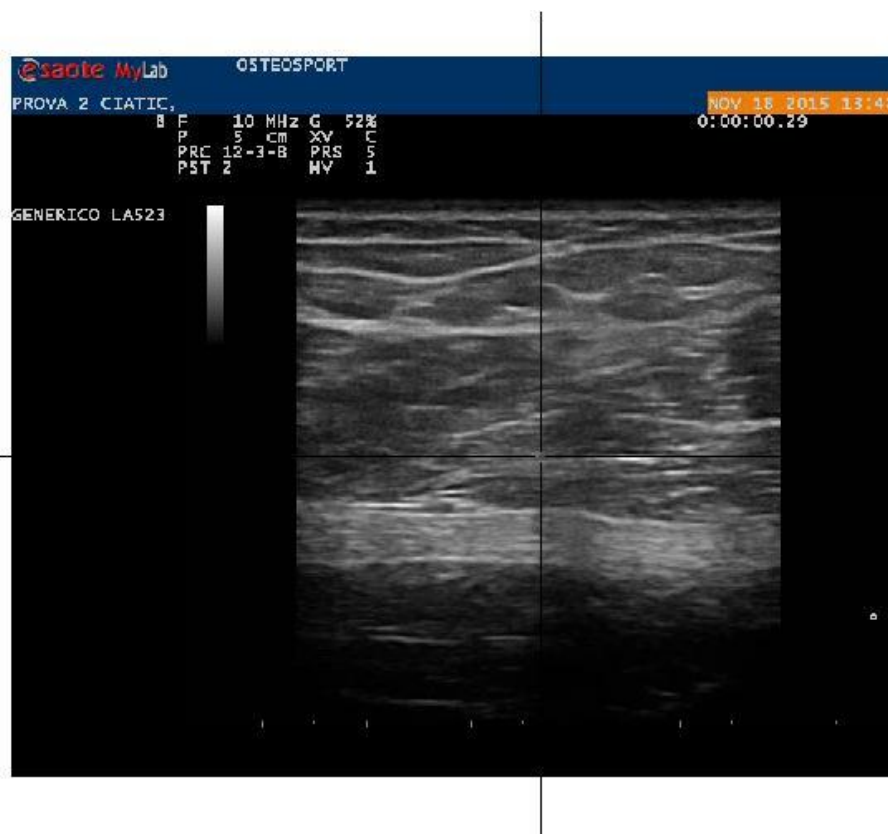


Figura 3.2: Imatge corresponent al que es pot veure per pantalla en la reproducció del vídeo 1.

3.3. MATLAB

El MATLAB és el software que s'utilitza per a la realització d'aquest estudi i per tant en aquest apartat apareixen algunes de les comandes emprades i anotacions que es creuen necessàries per a la comprensió dels resultats. En aquest apartat s'explica principalment tot el procediment seguit i les funcions que s'han creat per obtenir el moviment del nervi.

3.3.1. Scripts i funcions

El primer que cal saber en MATLAB és la possibilitat de creació de **scripts**, que simplement executen una sèrie d'ordres o instruccions; o la creació de **funcions** que a més accepten arguments i produeixen resultats. L'ús d'aquestes augmenten la funcionalitat del llenguatge i faciliten considerablement el tractament de les dades.

3.3.1.1. LoadEcografia

Executar aquest script és el primer pas que es realitza en la cerca del moviment del nervi. Precisament el que fa aquest script és executar un dels vídeos esmentats (per pantalla apareix el següent missatge: 'vols veure el vídeo? (si = 1)') que apareix encerclat en blau en el codi de la pàgina 25 del document.

Si s'introdueix el nombre 1 apareix una finestra on es reproduïx el vídeo i els frames van reproduint-se successivament fins arribar a l'últim (el frame 119).

Un cop finalitzada la reproducció cal escollir un frame a partir del qual s'extraurà la informació (en el codi apareix encerclat en vermell on es realitza aquesta decisió). Quan la funció ha arribat a aquest punt, apareix per pantalla un missatge on es demana si es vol seleccionar una finestra (encerclat en groc en el codi). Si la resposta que es dona és 1, apareix la imatge corresponent al frame que s'hagi escollit. Sobre aquesta imatge el cursor permet realitzar dos clics amb els quals es crea una figura guardada en la variable Asub (explicat en la figura 3.3.1.1).

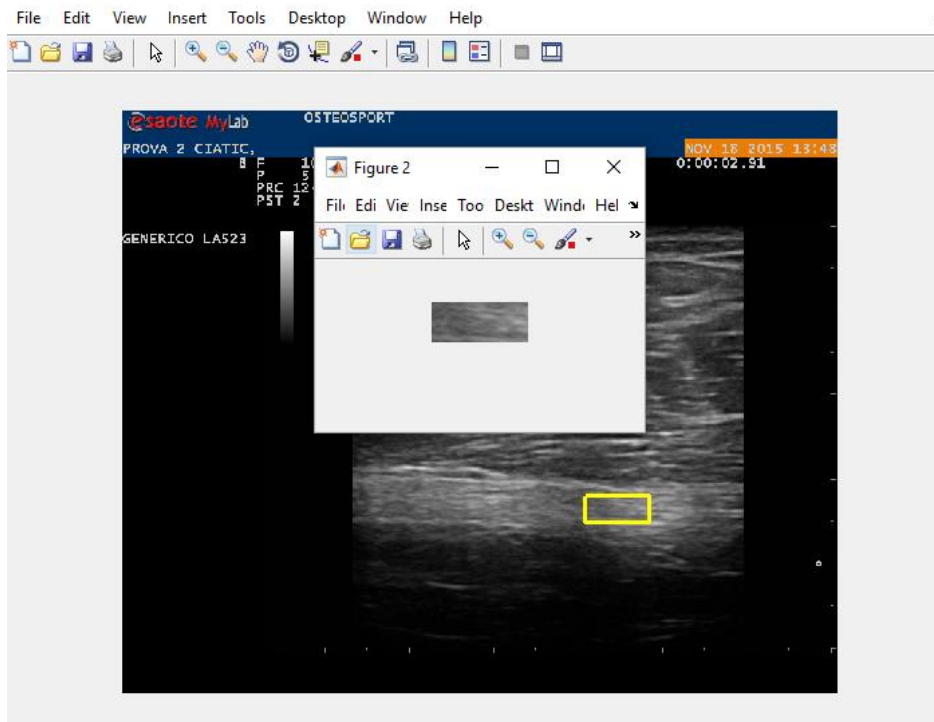


Figura 3.3.1.1: Mitjançant dos clics es crea el rectangle groc que automàticament es guarda com la variable Asub. Aquesta variable doncs és la matriu que conté la informació que es vol estudiar. Comentar que es crea automàticament la figura 2: imatge de la matriu Asub.

Aquesta subimatge que es pot crear a voluntat és útil perquè d'aquesta manera la variable Asub conté la informació que realment interessa, és a dir, els píxels de només la part del nervi ciàtic que es vol estudiar i no aquells que porten informació de la cama.

Per tant un cop executat l'script LoadEcografia es tenen dues variables indispensables: Aorig i Asub, on Aorig és la matriu sencera del frame que s'ha escollit en el codi i Asub és la submatriu que s'ha creat per tal de focalitzar la informació (en verd s'encercla part del codi on es creen aquestes matrius).

A continuació es mostra el codi de l'script LoadEcografia amb les variables esmentades i les diferents comandes que fan possible l'obtenció de les variables Aorig i Asub:

```

close all;
clear all;
fileName='PROVA_2_CIATIC_20151118134548_1348280.avi';
vidObj = VideoReader(fileName);
vidHeight = vidObj.Height;
vidWidth = vidObj.Width;
s = struct('cdata',zeros(vidHeight,vidWidth,3,'uint8'),...
'colormap',[]);
k = 1;

```

```
showVideo=input('vols veure el video? (si=1)');
```

```

while hasFrame(vidObj)
    s(k).cdata = readFrame(vidObj);
    if (showVideo==1)
        imshow(s(k).cdata);
        hold on;
        text(vidHeight-100,vidWidth-100,['Frame= '
num2str(k,'%d')],'color','k');
        drawnow;
        pause(0.1);
        hold off;
    end
    k = k+1;
end
numFrames=k-1; %num total de frames

```

```
selecFinestra=input('seleccionem finestra?(si=1)');
```

```
FrameIni = 1;
```

```

Aorig=s(FrameIni).cdata;
imshow(Aorig);

```

```

selecFinestra = 1;
if (selecFinestra==1)
    [x,y]=ginput(2); %triem corner top-left i despres botton-rigth
    minY=min(x);
    minX=min(y);
    maxY=max(x);
    maxX=max(y);
    width=maxY-minY;
    heigth=maxX-minX;
    Aorig=s(FrameIni).cdata;
    imshow(Aorig);
    hold on;
    plotRectangle(minY, minX, width, heigth);

```

```
%Asub=s(FrameIni).cdata(minX:maxX,minY:maxY,:);
```

```

Asub=Aorig(minX:maxX,minY:maxY,:);
Asub=rgb2gray(Asub); %passem a un unic canal de grisos
Asub=im2double(Asub); %passem les dades a doubles per fer calculs
figure() %mostrem la subimatge
imshow(Asub)

```

```
end
```

Un cop conegudes les matrius es pot conèixer la posició exacta que ocupa A_{sub} dins A_{orig} i fixar el punt d'origen p a partir del qual s'estudia el moviment. Aquest pas és essencial per tal d'esbrinar el moviment en els frames posteriors.

Un cop es té el punt origen dins la matriu A_{orig} ja es poden crear les subimatges de les quals es feia referència en l'apartat [3.1. Nomenclatura per a la identificació d'imatges](#). A partir del punt origen es creen tres imatges de dimensions A, B i C (20x20, 30x30 i 40x40 respectivament), que seran A1, B1 i C1 ja que corresponen al frame 1 (el primer de tots).

Quan ja s'han obtingut les matrius inicials el que s'ha d'aconseguir és trobar la matriu del frame següent que més s'assembli, o en altres paraules, que tingui major correlació per tal de conèixer la direcció i el desplaçament del moviment.

3.3.1.2. CrossCorrelation

La correlació entre imatges ens indica com de semblants són dues imatges d'iguals dimensions. Segons Rober Collins, per tal de conèixer la correlació normalitzada entre ambdues imatges cal aplicar la següent fórmula:

$$\hat{f} = \frac{f - \bar{f}}{\sqrt{\sum (f - \bar{f})^2}} \quad \hat{g} = \frac{g - \bar{g}}{\sqrt{\sum (g - \bar{g})^2}}$$

$$\text{NCC}(f,g) = C_{fg}(\hat{f}, \hat{g}) = \sum_{[i,j] \in R} \hat{f}(i,j) \hat{g}(i,j)$$

La funció CrossCorrelation realitza el càlcul de correlació entre dues matrius, anomenades f i g en el codi de la pàgina 28. Aquestes matrius contenen la informació de dues imatges.

El resultat de la funció ens retorna un nombre comprès entre el -1 i l'1, que indica com de semblants són les imatges. Cal saber que -1 vol dir que la correlació és inversa i 1 que hi ha correlació màxima. A partir del resultat d'aquesta funció doncs, es pot anar deduint quines imatges són les més semblants entre elles i per tant quin és tracking del punt p .

Aquesta funció en sí mateixa no s'executa directament sinó que serà la funció que s'explica a continuació que ho farà, per tal d'automatitzar el procés.

És important recalcar que aquesta funció només funciona correctament si les imatges que s'introdueixen f i g són d'igual dimensió, és a dir, si f és una imatge tipus A, g també ho ha de ser.

A continuació es presenta el codi de CrossCorrelation on el que es fa és convertir en codi la fórmula matemàtica de correlació entre dues matrius exposada al començament d'aquest apartat:

Primer es calcula el nombre de files i columnes de les matrius f i g i es calcula la mitjana total de cada una d'elles. Amb aquesta informació i un bucle que recorre cada una de les caselles de les matrius es pot calcular la desviació tipus de f i g (valor corresponent al sumatori del denominador de la fórmula).

Després es calcula el producte entre els valors de mateixes posicions de les matrius f i g , és a dir, el valor de la posició (1,1) de f amb el valor (1,1) de g i així successivament per acabar sumant cadascun d'aquests resultats. Aquest valor final és la correlació entre f i g .

```

function [x,y] = crosscorrelation (f,g)
%número de files de les matrius f i g
nff = size(f,1);
nfg = size(g,1);
%número de columnes de les matrius f i g
ncf = size (f,2);
ncg = size (g,2);
%mitja total de les matrius
mitjaf= mean(mean(f));
mitjag=mean(mean(g));
F = f - mitjaf;
G = g - mitjag;
%sumatori de desviacions de la matriu f
i = 1; %i = numero files
j = 1; %j = numero columnes
contf = 0;
while i<= nff,
    while j<=ncf,
        valor = f(i,j);
        desviacio = (valor - mitjaf).^2;
        j = j+1;
        contf = desviacio + contf;
    end
    i = i + 1;
    j = 1;
end
%sumatori de desviacions de la matriu g
i = 1; %i = numero files
j = 1; %j = numero columnes
contg = 0;
while i<= nfg,
    while j<=ncg,
        valor = g(i,j);
        desviacio = (valor - mitjag).^2;
        j = j+1;
        contg = desviacio + contg;
    end
    i = i + 1;
    j = 1;
end
ff = F / sqrt(contf);
gg = G / sqrt(contg);
i = 1;
j = 1;
contador=0;
while i<=nff,
    while j<=ncf,
        producte = ff(i,j)*gg(i,j);
        contador = producte + contador;
        j = j + 1;
    end
    i = i+1;
    j = 1;
end
correlacio = contador %resultat de la correlació

```

3.3.1.3. TrobaMatriu

La següent funció és bàsica per agilitzar el procés de cerca del moviment del nervi ja que com a variable de sortida ens retornarà la posició del punt a estudi (anomenat punt p en el document) que s'ha escollit inicialment.

Primer s'explica de forma genèrica quin és el funcionament de la funció i un cop entès, s'explicarà com s'ha aplicat aquesta funció al procediment per a trobar el moviment del nervi.

Com a paràmetres d'entrada de la funció es tenen dues matrius (amb la informació de dues imatges) que són **f** i **go**, extretes de dos frames consecutius del vídeo que s'estudia, i una **condició**.

Tot i que en la mateixa funció s'indica quina informació contenen les matrius, a continuació s'explicarà amb més detall i es comentarà quin és el procediment que s'ha realitzat per obtenir-les:

- **f**

És una matriu de dimensions concretes (A, B o C com s'explica en l'apartat [3.1. Nomenclatura per a la identificació d'imatges](#)) que pertany a la subimatge anomenada A_{sub} que inclou únicament el nervi ciàtic i no part de la cama. D'aquesta manera es garanteix que s'està treballant en la zona correcta. En la nomenclatura emprada serien aquelles matrius A1, B1 i C1 si el píxel que es vol estudiar prové del frame 1. També es pot començar l'estudi per un altre frame que no sigui l'inicial, com per exemple el frame 50, i llavors les matrius **f** que s'utilitzarien serien A50, B50 i C50. És important explicar que el punt o posició p del qual es parla en el treball es troba en la posició (1,1) d'aquesta matriu.

- **go**

En la figura 3.3.1.3 es pot observar una subimatge de color taronja que correspondria a la posició de la matriu **f** respecte **go** (imatge blava de la figura). Tal i com s'observa **go** és una matriu de dimensions superiors que conté **f**.

Aquesta **go** pertany a una imatge extreta del frame següent al que pertany la matriu **f**, és a dir que si **f** pertany al frame 1 **go** pertany al frame 2.

Mitjançant la funció TrobaMatriu es recorre la matriu **go** fins a trobar una subimatge el més semblant possible a **f** i de les mateixes dimensions, que s'anomenarà **g**. El

resultat òptim esdevindria quan la correlació de g i f fos igual a 1, que és el cas de correlació màxima entre dues imatges.

Com que aquest cas és possible que no es trobi degut al soroll de les imatges, la funció TrobaMatriu retornarà la posició d'aquella submatriu g de correlació més elevada amb f, tot i que no sigui igual a 1.

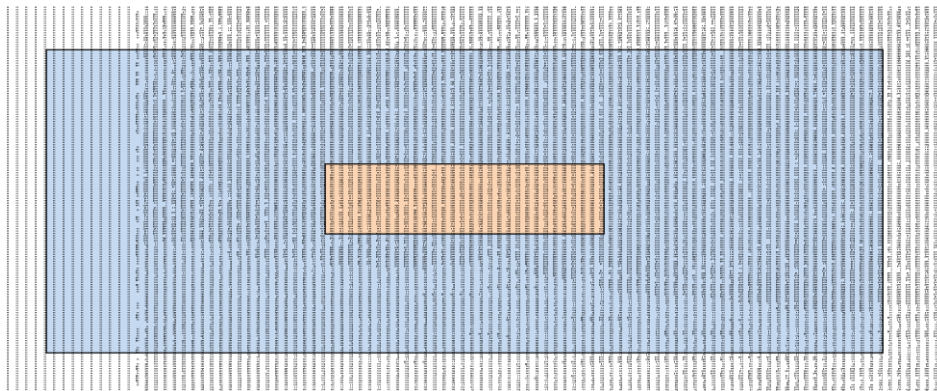


Figura 3.3.1.3: Visualitza el que es pot veure amb el programa Excel quan s'hi representen les matrius f i go. La subimatge de color taronja correspon a f, de dimensió preestablerta 20x20, 30x30 o 40x40. La subimatge de color blau correspon a go i és de 120x120 píxels. Durant el procés de cerca de moviment la imatge go sempre es crea de la mateixa manera: la primera posició de la matriu es troba 40 files per sobre i 40 columnes a l'esquerra del punt p (prima posició de la matriu f).

- **Condicció**

S'afegeix aquest paràmetre d'entrada per tal d'adaptar la funció al que es cregui més convenient. El més lògic és voler trobar la matriu de correlació màxima i per tant el valor del paràmetre de condició que s'entra és 1. El bucle es realitzarà sense interrupció i es trobarà la matriu de més alta correlació possible.

Tot i que l'anterior és el cas més freqüent, es pot donar la circumstància que es vulgui trobar altres matrius de correlació elevades (sense que siguin la de valor màxim), i aleshores el que es pot fer és introduir com a condició el valor de correlació màxim trobat amb anterioritat. El bucle es realitzarà fins a trobar una correlació inferior a la màxima, i la funció retornarà la segona matriu amb més correlació.

Un cop entès el funcionament d'aquesta funció, es vol explicar quina ha estat la metodologia exacta alhora de trobar el moviment dels píxels:

Un cop conegudes les matrius Aorig i Asub (recordar que s'obtenen amb l'script

LoadEcografia) i s'ha localitzat Asub dins Aorig, es disposa d'un píxel inicial amb el qual es treballarà (posició p). A partir d'aquest punt es creen les imatges inicials de dimensions A, B i C, que pertanyen al frame que s'hagi escollit per a començar l'estudi. Si és el cas del frame 40, les imatges o matrius seran A40, B40 i C40.

El procediment de cerca del moviment es realitzarà per cadascuna de les dimensions, de manera que per resumir l'explicació s'agafa el cas de dimensió A. En l'exemple que s'utilitza per a realitzar l'explicació el frame inicial d'estudi és el 40 i per tant:

1. La matriu inicial creada amb la funció LoadEcografia s'anomena A40 i és el paràmetre f de la funció TrobaMatriu.
2. El paràmetre go de la funció TrobaMatriu es troba executant LoadEcografia un altre cop amb una variació. Aquesta vegada s'escull en el codi de la funció LoadEcografia el frame següent, és a dir, el frame 41. Quan s'executi LoadEcografia s'obtindrà una matriu Aorig que correspondrà a aquest frame 41 i en la qual es buscarà la posició p.
3. Un cop localitzada es crearà la matriu go, que és de dimensions superiors a f i que conté en el seu interior p (la primera posició de go es troba 40 files per sobre i 40 columnes a l'esquerra de la posició p). Per a crear go únicament es considera que sigui prou gran com per a que la matriu de màxima correlació es trobi segur en el seu interior. En el treball aquesta matriu go és sempre de 120x120 píxels.
4. Un cop obtinguts f i go es pot executar TrobaMatriu. Aquesta funció recorre go fins a trobar una matriu de màxima correlació g, retornant la posició d'aquesta. Per tant es pot dir que la funció retorna el que s'ha mogut el punt p des del frame 40 al frame 41. S'ha de tenir en compte però que la correlació de f i g mai és 1 degut a l'existència del soroll de les imatges.

Una vegada s'ha executat TrobaMatriu el procediment es repetirà per a trobar el moviment en els següents frames: per a trobar la matriu de màxima correlació entre el frame 41 i el 42 s'usarà com a paràmetre f la matriu g acabada de trobar (extreta del frame 41) i la matriu go s'extreurà a partir d'executar LoadEcografia amb el frame 42. La funció TrobaMatriu retornarà una nova matriu g de màxima correlació entre f i go i la posició en que es troba. D'aquesta manera s'anirà coneixent el moviment de p en els diferents frames.

A continuació es presenta la funció TrobaMatriu amb comentaris per tal d'entendre amb més claredat el seu funcionament.


```
function [subimatge,resultat] = trobamatriu (condicio,f,go)
%f = matriu original
%go = matriu gran de la qual en volem trobar una submatriu que
s'assembli el més possible a f
%Número de files de les matrius f i go
nff = size(f,1);
nfgo = size (go,1);
%número de columnes de les matrius f i g
ncf = size (f,2);
ncgo = size (go,2);
%inicialització de paràmetres
%x i y marquen la posició inicial de la submatriu g
%Es comença sempre per la posició x=1 i y=1 i es va avançant
x = 1;
y = 1;
%Distància que recorreran la x i la y
distx = nfgo - nff;
disty = ncgo - ncf;
%fila i columna indiquen les dimensions de la submatriu g
%Aniran variant de tal manera que g sempre tingui les mateixes
dimensions que f
fila = nff;
columna = ncf;
correlacio = 0;
resultat = 0;

%Es genera la submatriu g utilitzant go, el punt (x,y) i les
dimensions de fila i columna
%Es va comparant g amb f i es guarda la posició de la sugimatge amb
millor correlació

while correlacio <= condicio,
    while x< distx,
        while y< disty,
            g = go(x:fila,y:columna);
            correlacio = crosscorrelation (f,g);
            while correlacio > resultat,
                if correlacio > condicio,
                    break
                end
                xfin = x;
                yfin = y;
                resultat = correlacio;
                subimatge = [xfin,yfin];

            end
            y = y + 1;
            columna = columna +1;
        end
        y = 1;
        columna = ncf;
        x = x +1;
        fila = fila +1;
    end
    break;
end
```

3.3.1.4. PuntVermell

PuntVermell és un scrip que es crea sota la necessitat de comprovar els resultats obtinguts i demostrar que els càlculs realitzats són correctes.

El començament del codi d'aquest és semblant al codi del primer script emprat, LoadEcografia, ja que el primer que fan els dos és la crida del vídeo del nervi ciàtic. A partir d'aquí però apareixen les diferències: en l'script de PuntVermell quan s'executa el vídeo apareix un polsador que marca el moviment resultant dels càlculs trobats. En aquest cas no cal que l'script ens demani si es vol o no reproduir el vídeo ja que el motiu d'aquest script és precisament veure el moviment del polsador en la reproducció.

A diferència de l'script LoadEcografia, tampoc és necessària la creació de la subimatge Asub ja que l'script PuntVermell és bàsicament un script de comprovació visual i no és requereix la creació de cap variable.

En el codi del PuntVermell, un cop s'ha cridat el vídeo, s'entren els valors de posició de les subimatges de màxima correlació obtinguts amb les altres funcions i es creen píxels de color just ens aquests punts (enquadrat en vermell en el codi de la pàgina 34). El resultat de l'execució de l'script és la reproducció del vídeo amb un petit punter que segueix el mateix moviment del nervi, provant d'aquesta manera que els resultats són correctes.

Un cop s'ha acabat la reproducció, de la mateixa manera que en el LoadEcografia, també apareix la figura del frame indicat però en aquest cas amb el punter de color marcat (enquadrat en blau en el codi).

El punter és un conjunt de píxels (10x10 en l'exemple) que es crea per cada frame tal i com es veu en el codi. La posició d'aquest punter s'extreu gràcies a que es coneixen les matrius de màxima correlació i el seu punt origen respecte la matriu Aorig.

En l'exemple mostrat en aquest codi, el resultat seria un punter de dimensions 10x10 píxels que es mou des del frame 50 al 54.

```

close all;
clear all;
fileName='PROVA_2_CIATIC_20151118134548_1348280.avi';
vidObj = VideoReader(fileName);
vidHeight = vidObj.Height;
vidWidth = vidObj.Width;
s = struct('cdata',zeros(vidHeight,vidWidth,3,'uint8'),...
    'colormap',[]);
k = 1;
showVideo=1;

while hasFrame(vidObj)
    s(k).cdata = readFrame(vidObj);
    if (showVideo==1)

        if k == 50
            s(k).cdata(455:465,574:584,1)=255;
        end
        if k == 51
            s(k).cdata(456:466,579:589,1)=255;
        end
        if k == 52
            s(k).cdata(456:466,579:589,1)=255;
        end
        if k == 53
            s(k).cdata(456:466,580:590,1)=255;
        end
        if k == 54
            s(k).cdata(458:466,581:591,1)=255;
        end

        imshow(s(k).cdata);
        hold on;
        text(vidHeight-100,vidWidth-100,['Frame= '
num2str(k,'%d')], 'color','k');
        drawnow;
        pause(0.1);
        hold off;

    end
    k = k+1;
end
numFrames=k-1; %num total de frames

```

```

FrameIni = 73;
Aorig=s(FrameIni).cdata;

Aorig(458:464,588:594,1)=255;
imshow(Aorig);

```

4. Resultats

Alhora de presentar els resultats es segueix exactament el procediment seguit per aconseguir-los i d'aquesta manera es pot veure com han variat al llarg de l'estudi.

Al final de cada apartat apareixen els resultats definitius per tal que es manifesti visualment l'evolució d'aquests.

Per a l'obtenció dels resultats és necessari guardar tota la informació que s'extreu de l'estudi de les imatges. Aquesta informació s'ha plasmat en taules, les quals apareixen en l'annex del treball. Degut a la gran dimensió d'aquestes taules en els següents apartats es presenta només una petita part amb una explicació corresponent.

4.1. Primers resultats

En un primer moment l'estudi es realitza sense la utilització de la funció TrobaMatriu ja que es creia que la tasca de trobar la matriu de màxima correlació seria una tasca més fàcil del que ha estat.

Els primers resultats que es presenten a continuació són els obtinguts mitjançant una cerca manual dins la imatge original i utilitzant totes les posicions de la nomenclatura creada (les imatges segueixen l'estil explicat de tres posicions A11, A12,...).

En els primers resultats el vídeo utilitzat és l'anomenat número 1, on el desplaçament del nervi es dona en només una direcció.

El primer punt que s'escull és el JR429 perquè es creu prou característic per tal d'obtenir uns resultats clars.

4.1.1. Subimatge A

Són imatges de dimensió 20x20 píxels i s'escull el frame inicial com el frame 1. El punt p és el JR429 i és el punt a partir del qual es busca el moviment en el frame següent a l'inicial.

Només es presenta les correlacions amb el frame 2 ja que les correlacions que s'observen són realment baixes i no és possible seguir amb aquesta metodologia.

El procediment empleat per obtenir aquestes correlacions és totalment manual: a partir del punt p inicial s'han creat matrius properes a ell tal i com s'explica en la nomenclatura. El resultat d'aquest procediment es presenta en la taula 4.1.1 següent:

Imatge inicial	Subimatge Frame+1	Correlació
A1	A21	0.0577
	A22	0.1465
	A23	0.1203
	A24	0.1599

Taula 4.1.1: La correlació màxima entre el frame inicial i el següent és molt baixa i per tant l'estudi no és realitzable.

4.1.2. Subimatge B

Per tal de poder comparar com afecta el canvi de dimensió en els resultats, es creen matrius de 30x30. S'observa una petita millora en els resultats però continuen sent correlacions baixes.

En la taula 4.1.2 es pot observar que la correlació més elevada és la corresponent a la imatge de dalt a l'esquerra tot i que no és gens concloent i no és prou bona per a poder seguir amb l'estudi.

Imatge inicial	Subimatge Frame+1	Correlació
B1	B21	0.5165
	B22	0.2841
	B23	0.3034
	B24	0.2670

Taula 4.1.2: La correlació màxima entre el frame inicial i el següent és molt baixa i per tant l'estudi no és realitzable.

4.1.3. Subimatge C

Les imatges de dimensions 40x40 tampoc donen una correlació millor que les anteriors i per tant es descarta també l'opció manual per aquestes dimensions.

Imatge inicial	Subimatge Frame+1	Correlació
C1	C21	0.3393
	C22	0.0183
	C23	0.4600
	C24	0.1653

Taula 4.1.3: La correlació màxima entre el frame inicial i el següent és molt baixa i per tant l'estudi no és realitzable.

4.1.4. Conclusions

Es pot observar com les correlacions són realment baixes i és impossible escollir quina és la direcció de màxima correlació amb la imatge del frame següent. S'observa també que realitzar el procediment de cerca manualment és una tasca molt costosa ja que s'ha d'executar la funció CrossCorrelation per cada possible submatriu. Per aquest motiu es decideix crear la funció TrobaMatriu explicada anteriorment i agilitzar dràsticament el procés de cerca del moviment.

4.2. Segons resultats

Com ja s'ha vist en l'apartat anterior la necessitat d'utilitzar una funció que ajudi en la cerca de la matriu de màxima correlació es fa imprescindible.

En els segons resultats el vídeo utilitzat és també l'anomenat número 1, on el desplaçament del nervi es dona en només una direcció.

En els resultats que es presenten a continuació ja s'ha utilitzat la funció TrobaMatriu explicada en l'apartat [3.3.1.3 TrobaMatriu](#) d'aquest document.

En aquest cas la utilització de la nomenclatura és només parcial ja que la tercera posició no és necessària. La funció mateix realitza automàticament el procediment de cerca i per aquest motiu no cal introduir al MATLAB les diferents matrius que en l'apartat anterior si que era necessari (A11, A12, A13, A14, B11, ...). Les dues primeres posicions en canvi sí que tenen sentit ja que la primera indica les dimensions emprades i la segona el frame del qual s'ha extret la subimatge, per tant les imatges en les taules apareixen com A1, A2, A3, etc, sense la tercera posició de la nomenclatura.

En aquest estudi s'ha considerat que la matriu inicial a partir de la qual es busca la matriu de màxima correlació sigui sempre la mateixa. Per tant el procediment emprat quan s'utilitza la funció TrobaMatriu és lleugerament diferent a l'explicat:

En aquest cas el paràmetre f és sempre la mateixa matriu i el que va variant únicament és go. Aquesta matriu go s'anirà obtenint amb l'execució de LoadEcografia pels diferents frames i es col·locarà de tal manera que el punt p sempre quedi en la mateixa posició. Aquest punt p continua sent el mateix que en els primers resultats: JR429.

Les taules que es presenten en aquest apartat tenen totes la mateixa capçalera i estan formades per les següents columnes:

- **Imatge inicial:**

Indica quina és la imatge inicial a partir del qual comença l'estudi. En els segons resultats sempre es tracta del frame 1, ja que s'estudia el conjunt dels 119 frames del qual estan formats els vídeos.

- **Frame:**

Indica el frame al qual pertany la imatge. Pel cas dels segons resultats aquesta columna sempre va del frame 2 al 119.

- **Correlació amb A1/B1/C1:**

Indica la correlació entre la imatge inicial A1/B1/C1 (depenent de la dimensió que s'estigui estudiant) i la imatge del frame que s'estigui tractant. Aquesta correlació prové d'executar la funció CrossCorrelation entre A1/B1/C1 i la matriu g trobada amb TrobaMatriu.

- **Correlació amb A/B/C anterior:**

Es troba executant la funció CrossCorrelation entre la matriu que s'està estudiant de dimensió A, B o C i la del frame anterior.

- **Posició respecte A1/B1/C1:**

S'especifica el nombre de files i columnes que s'ha mogut el punt p. Aquest valor es troba executant la funció TrobaMatriu, que retorna la posició de la matriu de màxima correlació. Si el punt es desplaça un píxel cap a la dreta es col·loca en la taula un +1 en el nº de columnes. Si en canvi es desplaça cap a l'esquerra es col·loca un -1. De la mateixa manera si el desplaçament és vertical: es col·loca un +1 quan es desplaça un píxel cap a dalt i un -1 si es desplaça cap baix. L'estudi es realitza pels diferents tipus d'imatge A, B i C i els resultats obtinguts es presenten a continuació:

4.2.1. Subimatge A

A continuació es presenta part de la taula 4.2.1 obtinguda amb l'estudi realitzat en els segons resultats. La dimensió de les imatges és de 20x20 píxels.

Imatge inicial	Frame	Correlació A1	Correlació A anterior	Posició respecte A1	
				Nº files	Nº columnes
A1	+2	0.9132	0.9355	0	+1
	+3	0.8413	0.9283	0	0
	+4	0.7230	0.8542	+1	-1
	+5	0.7277	0.6123	0	0
	+6	0.6589	0.9576	+1	-1
	+7	0.6231	0.9778	+1	-1

Taula 4.2.1: La correlació amb la imatge inicial va disminuint progressivament i impossibilita seguir amb l'estudi.

Es pot observar com la correlació amb el frame inicial A1 va disminuint fins arribar a valors poc creïbles i es fa impossible continuar amb l'estudi. A més els resultats obtinguts de moviment del punt p no semblen correctes ja que la imatge en el vídeo no va canviant de direcció tal i com indica el nombre de columnes.

4.2.2. Subimatge B

Es presenten part dels resultats obtinguts en l'estudi de matrius 30x30 (taula 4.2.2). En aquest cas els resultats són més coherents però tot i així la correlació amb B1 es va reduint de forma considerable. No es pot extreure per tant cap conclusió.

Imatge inicial	Frame	Correlació B1	Correlació B anterior	Posició respecte B1	
				Nº files	Nº columnes
B1	+2	0.9355	0.9495	0	+1
	+3	0.8557	0.9397	0	+2
	+4	0.7903	0.8993	-1	+3
	+5	0.7629	0.9619	-1	+3
	+6	0.7272	0.9789	-1	+3
	+7	0.6974	0.9178	-2	+3

Taula 4.2.2: La correlació amb la imatge inicial va disminuït progressivament i impossibilita seguir amb l'estudi.

4.2.3. Subimatge C

A continuació es presenta una part de la taula 4.2.3 obtinguda de realitzar el procediment explicat per les imatges de dimensió C.

En aquest cas també s'executa la funció TrobaMatriu amb el paràmetre f constant, és a dir, la correlació màxima que busca aquesta funció és sempre entre C1 i les subimatges go dels altres frames. S'observa que en un principi la correlació és elevada amb C1, però a mesura que augmenten els frames aquesta correlació es va reduint fins al punt d'arribar a nivells baixos. Per tant es pot dir que aquest mètode utilitzat no és fiable per decidir quin és el moviment del nervi.

Imatge inicial	Frame	Correlació C1	Correlació C anterior	Posició respecte C1	
				Nº files	Nº columnes
C1	+2	0.9635	0.9717	0	+1
	+3	0.9261	0.9819	0	+1
	+4	0.8756	0.9403	-1	+2
	+5	0.8588	0.9804	-1	+2
	+6	0.8393	0.9883	-1	+2
	+7	0.8260	0.9924	-1	+2

Taula 4.2.3: La correlació amb la imatge inicial va disminuint progressivament i impossibilita seguir amb l'estudi.

A continuació es presenta la informació corresponent a l'últim frame del vídeo utilitzat i que confirma que el mètode no és vàlid ja que la correlació que s'obté és d'un valor baix (0,7434 en la taula 4.2.4). Tot i així es pot veure com la correlació amb la imatge del frame anterior sí que és bona.

Pel que fa al nombre de files i columnes mogudes del punt p no es té en compte degut a que les correlacions són baixes.

Imatge inicial	Frame	Correlació C1	Correlació C anterior	Posició respecte C1	
				Nº files	Nº columnes
C1	+119	0.7434	0.9657	0	-20

Taula 4.2.3.a: Últim frame de la taula 4.2.3.

4.2.4. Conclusions

Es pot concloure que per cap de les dimensions utilitzades el procediment és adequat ja que les correlacions amb el frame inicial van disminuint a mesura que es reproduïen els frames. Com que s'observa que la correlació amb el frame anterior (quarta columna de les taules) es manté sempre dins uns valors de correlació elevats, es canvia el procediment de cerca del moviment. En els tercers resultats s'explica quin ha estat el procediment finalment emprat.

4.3. Resultats finals (vídeo 1)

Tots els càlculs que apareixen en aquest treball s'extreuen de les dades que apareixen en l'annex. Per cada un dels punts estudiats en el vídeo es realitza la cerca de moviment amb imatges de dimensió A, B i C. Per aquestes dimensions les dades trobades s'organitzen en una taula on es troba la següent informació:

- La primera part de la taula té la mateixa capçalera que en els segons resultats. És a dir que està formada per les mateixes columnes: imatge inicial, frame, correlació A/B/C inicials, correlació A/B/C anterior i posició respecte A/B/C inicials. La única diferència en la taula respecte els segons resultats és que A/B/C inicials no han de correspondre forçosament al frame 1. Per recordar l'explicació d'aquestes columnes es pot rellegir el punt [4.2. Segons resultats](#).
- La segona part de la taula no apareix en cap dels altres resultats estudiats fins ara. Es tracta de la següent columna:

- **Desplaçament i velocitat**

Es calcula el desplaçament en mòdul del punt p des del frame que s'estigui estudiant respecte l'anterior. També es calcula la velocitat entre aquests dos frames.

El desplaçament es calcula amb el mòdul del desplaçament horitzontal i vertical. Per calcular la velocitat es necessita conèixer el temps transcorregut entre un frame i el següent (0,1 segons), informació que es pot trobar en el codi de la funció LoadEcografia, i el desplaçament del punt p. Els càlculs seguits per elaborar la columna de desplaçaments i velocitats són els següents:

$d^2 = x^2 + y^2$, on x i y són el desplaçament vertical i horitzontal en un sol frame. Aquesta x i y es calculen mitjançant el frame anterior a l'estudiat, no respecte l'inicial.

$t = 0,1$ segons, és el temps que transcorre entre dos frames.

$v = d / t$ (píxels/segon)

Per trobar el temps en la fórmula de la velocitat no es pot fer simplement multiplicant 0,1 per el nombre total de frames estudiats. Si es fes d'aquesta manera s'estaria considerant la velocitat constant en tot el moviment estudiat,

cosa que no és sempre certa.

Per tant la solució és calcular el mòdul del desplaçament i velocitat per cada frame i fer-ne una mitjana per el total de frames estudiats. Com ja s'ha dit els càlculs de velocitats i desplaçaments es troben també en la taula de l'annex.

Un cop entesa la taula es vol explicar la metodologia per a trobar la informació de les taules. En aquest estudi de resultats finals s'utilitza com a matriu f la subimatge del frame anterior, tal i com s'explica en el punt [3.3.1.3 TrobaMatriu](#). Es posa un exemple per a recordar-ho: si es vol trobar la subimatge de major correlació amb el frame 7, s'agafa com a paràmetre f la subimatge A6. Es realitza d'aquesta manera ja que la imatge no és estàtica.

En aquests resultats finals s'utilitza el vídeo 1 on el desplaçament es realitza només en una direcció. Per tant en els resultats no s'hauria de veure cap canvi de direcció en les columnes de les taules.

4.3.1. PUNT INICIAL: VP458

En les següents taules es crea la imatge inicial A73 a partir d'un punt característic del vídeo per tal que els resultats numèrics es puguin apreciar visualment. En el vídeo es pot veure com una petita secció del nervi té un color més blanquinós que es mou clarament cap a la dreta. Com que l'anàlisi es realitza del revés, és a dir que es comença pel frame +73 i es va tirant enrere en el temps (+72, +71...) el que es s'ha de veure és que la columna es desplaça cap a l'esquerra, que en el cas de la taula s'identifica amb nombres negatius.

A continuació es mostren els resultats obtinguts que confirmen que el procediment és l'adequat i el nervi es desplaça cap a la dreta. Les taules que s'utilitzen tenen la mateixa capçalera que les taules dels segons resultats.

4.3.1.1. Subimatges A

En la següent taula 4.3.1.1 es mostren els resultats dels últims frames escollits i es pot observar com l'estudi es realitza tal i com s'ha comentat: començant en el frame 73 i acabant en el 50.

Imatge inicial	Frame	Correlació A73	Correlació A anterior	Posició respecte A73	
				Nº files	Nº columnes
A73	+53	0.4079	0.9857	+2	-8
	+52	0.3924	0.9815	+2	-9
	+51	0.4077	0.9819	+2	-9
	+50	0.3988	0.9519	+3	-14

Taula 4.3.1.1a: Desplaçament del punt p final des del frame 73 al 50 en imatges A.

S'observa doncs que el punt p ha avançat 14 columnes o píxels cap a l'esquerra (si es considera el moviment del frame 73 al 50). Això vol dir que el punt en qüestió s'ha desplaçat tal i com es pot veure en el vídeo, és a dir, cap a la dreta del frame 50 al 73.

Pel que fa a la direcció vertical es pot veure com la posició augmenta del frame 73 al 50 i per tant el punt p també es desplaça cap a baix durant la reproducció normal del vídeo.

Les correlacions trobades es resumeixen en la següent taula 4.3.1.1b:

	Correlació A73	Correlació A anterior
Mitjana	0,68	0,98
Mediana	0,66	0,98
Desviació tipus	1,19	0,00

Taula 4.3.1.1b: Resum de les correlacions.

Es pot concloure que les correlacions amb la imatge inicial (A73) són molt baixes, amb una mitjana de 0,68. Per tant és obvi que la cerca del moviment no es podia realitzar amb la correlació entre la imatge inicial i el frame a estudiar. Ho corrobora el fet que la correlació amb el frame anterior es mantingui constant (desviació tipus igual a 0) i elevada (0,98 de mitjana).

4.3.1.2. Subimatges B

En aquest cas també es realitza l'estudi des del frame 73 fins al 50, és a dir, de forma inversa a la reproducció normal del vídeo.

A continuació es presenten els resultats dels últims frames estudiats (taula):

Imatge inicial	Frame	Correlació B73	Correlació B anterior	Posició respecte B73	
				Nº files	Nº columnes
B73	+53	0.6056	0.9778	+3	-8
	+52	0.5933	0.9690	+3	-9
	+51	0.5874	0.9746	+3	-9
	+50	0.6088	0.9437	+3	-10

Taula 4.3.1.2a: Desplaçament del punt p final des del frame 73 al 50 en imatges B.

En el cas de les subimatges de dimensió B el desplaçament transcorre en la mateixa direcció però de forma menys pronunciada. El desplaçament horitzontal és de 10 píxels enlloc de 14. El desplaçament vertical sí que es manté en 3 píxels.

Pel que fa a les correlacions es resumeixen en la següent taula 4.3.1.2b:

	Correlació B73	Correlació B anterior
Mitjana	0,6	0,98
Mediana	0,73	0,98
Desviació tipus	0,49	0,00

Taula 4.3.1.2b: Mitjana de les diferents correlacions.

També es pot observar el mateix que en els casos anteriors: la correlació amb B anterior es manté constant i elevada (desviació tipus igual a 0 i mitjana igual a 0,98).

Com a diferència s'observa que la correlació amb B73 no varia tant durant la reproducció dels frames ja que la mediana és de 0,73. Aquest fet vol dir que el 50% de les dades es troben per sobre d'aquest valor i que per tant són d'una correlació prou elevada.

4.3.1.3. Subimatges C

En aquest cas s'estudia també des del frame 73 i fins al 50 però amb imatges de dimensió 30x30. Els resultats es troben com sempre en l'annex però a continuació es presenta la part final de la taula on es troben els les correlacions i desplaçaments dels últims frames estudiats:

Imatge inicial	Frame	Correlació C73	Correlació C anterior	Posició respecte C73	
				Nº files	Nº columnes
C73	+53	0.7048	0.9763	+4	-5
	+52	0.7053	0.9688	+4	-5
	+51	0.7194	0.9744	+4	-5
	+50	0.7204	0.9487	+4	-5

Taula 4.3.1.3a: Desplaçament del punt p final des del frame 73 al 50 en imatges C.

El desplaçament horitzontal es força inferior que en el cas de les imatges A i B (5 píxels en lloc de 14 i 10 respectivament). El desplaçament vertical final és pràcticament igual en els tres casos.

A continuació com és habitual es presenta el resum de les correlacions trobades (taula 4.3.1.3b), que aporta informació important de com han anat variant les imatges:

	Correlació C73	Correlació A anterior
Mitjana	0,82	0,98
Mediana	0,78	0,98
Desviació tipus	0,21	0,00

Taula 4.3.1.3b: Mitjana de les diferents correlacions

Es pot veure com el moviment trobat és fiable ja que la correlació màxima es manté constant i de valor 0,98. També es pot veure que la correlació amb C73 és més elevada que en altres casos (0,82 de mitjana i 0,78 de mediana). Que la desviació tipus sigui de 0,21 indica que les correlacions amb la imatge inicial no s'allunyen molt de la mitjana i per tant, la imatge no varia tant com en el cas A i B.

4.3.1.4. Conclusions

Com es pot observar els resultats no varien excessivament per les diferents dimensions de subimatges i tant per les imatges A, B i C és evident que el nervi es desplaça cap endavant i lleugerament cap a baix.

Això s'observa fàcilment tant a les taules com al vídeo. A les taules degut a que a mesura que es retrocedeix en el temps, les subimatges de major correlació es van movent cap a l'esquerra i lleugerament cap a dalt.

Pel que fa al vídeo es pot veure clarament com entre els frames 51 i 73 una petita secció blanca que es desplaça cap a la dreta. D'aquesta manera es prova que els resultats són verídics.

Per tal que el resultat sigui el més visual possible, en el vídeo es marca un punt vermell (un polsador) que simbolitza el recorregut de les subimatges trobades. Aquest es crea gràcies a la funció PuntVermell.

En la següent taula es pot veure un resum de les dades on s'incorpora el càlcul del desplaçament i la velocitat:

	A	B	C	Mitjana (píxels i píxels/segon)	Conversió de píxels a cm
Desplaçament vertical (píxels)	14	10	5	9,67	0,97
Desplaçament horitzontal (píxels)	3	3	4	3,33	0,33
Desplaçament total (píxels)	14,32	10,44	6,40	10,39	1,04
Velocitat mitjana (píxels/segon)	7,36	5,07	3,94	5,46	0,55

Taula 4.3.1.4: Càlculs finals del punt VP458.

Per concloure l'estudi d'aquest punt aquesta última taula és molt útil ja que indica per cadascuna de les dimensions les següents dades: desplaçament final horitzontal i vertical, desplaçament en mòdul final i la velocitat mitjana. També indica la mitjana de desplaçament i velocitat entre aquestes tres dimensions i per últim converteix les unitats de píxels a cm.

Aquesta conversió s'explica de la següent manera:

En el vídeo apareixen unes marques als laterals separades per 5 cm, en els quals hi ha 50 píxels. Per tant la conversió es senzilla: 10 píxels corresponen a 1 cm.

Així doncs en aquesta taula i en les taules idèntiques pels altres punts d'estudi, el resultat en centímetres de l'última columna es troba dividint per 10 el nombre de píxels.

El resultat final d'aquest punt VP458 es que es desplaça 1,04 cm entre els frames 50 i 73, amb una velocitat mitjana de 0,55 cm/segon.

4.3.2. PUNT INICIAL: VP436

A continuació es presenta l'estudi complet del punt VP436 que està situat en la mateixa columna que el punt anterior però lleugerament per sobre (22 píxels). Aquesta elecció ha estat per comprovar si el desplaçament es realitza en la mateixa direcció que en el punt anterior.

L'estudi també es realitza de forma inversa a la reproducció normal del vídeo i els frames estudiats són des del 74 al 51.

4.3.2.1. Subimatges A

Es comença l'estudi d'aquest punt amb les imatges de dimensió 30x30. Els resultats dels últims frames estudiats es troben en la següent taula. Es recorda també que part de la taula es pot trobar en l'annex del document.

Imatge inicial	Frame	Correlació A74	Correlació A anterior	Posició respecte A74	
				Nº files	Nº columnes
A74	+54	0.1391	0.9521	+3	-7
	+53	0.0587	0.9384	+4	-10
	+52	0.1305	0.9631	+4	-11
	+51	0.1830	0.9508	+4	-12

Taula 4.3.2.1a: Desplaçament del punt p final des del frame 74 al 51 en imatges A.

S'observa que el desplaçament és molt semblant al trobat en el punt anterior (VP458) ja que només varia en dos píxels en el desplaçament horitzontal. El nervi es desplaça cap a la dreta i cap a baix si es considera el moviment des del frame 51 al 74..

	Correlació A74	Correlació A anterior
Mitjana	0,49	0,95
Mediana	0,51	0,95
Desviació tipus	2,83	0,03

Taula 4.3.2.1b: Resum de les correlacions.

Les correlacions màximes que s'han trobat en aquest càlcul també són altes (0,95) i de molt poca desviació (0,03). Pel que fa a la correlació amb el frame inicial (A74), es pot concloure que la imatge varia considerablement ja que la correlació és 0,49. També es pot dir que aquest canvi es dona de forma gradual ja que la mediana és semblant a la mitjana.

4.3.2.2. Subimatges B

A continuació es mostren els resultats de les imatges B (20x20 píxels) en el punt VP436:

Imatge inicial	Frame	Correlació B74	Correlació B anterior	Posició respecte B74	
				Nº files	Nº columnes
B74	+54	0.0208	0.9447	+3	-8
	+53	0.0692	0.9365	+4	-11
	+52	0.0270	0.9622	+4	-12
	+51	0.1564	0.9333	+4	-14

Taula 4.3.2.2a: Desplaçament del punt p final des del frame 74 al 51 en imatges B.

Els resultats són semblants a les imatges tipus A i també als trobats en el punt VP458. Es pot observar un desplaçament de 14 píxels en direcció horitzontal i 4 en direcció vertical. Pel que fa a les correlacions màximes (columna de correlació B anterior), es poden veure correlacions altes de l'ordre de 0,93 o superior. En canvi les últimes correlacions amb la imatge del primer frame estudiat (columna correlació B74) les correlacions que es donen són mínimes. En la següent taula es presenta el resum de les correlacions trobades:

	Correlació B74	Correlació B anterior
Mitjana	0,47	0,96
Mediana	0,36	0,95
Desviació tipus	3,05	0,01

Taula 4.3.2.3: Resum de les correlacions,

S'observa que les correlacions són altes amb B anterior i força baixes amb B35. La meitat de les dades estudiades es troben per sota de la correlació de valor 0,36, per tant es pot dir que la imatge inicial varia molt al llarg de l'estudi.

4.3.2.3. Subimatges C

A continuació es presenta l'estudi del mateix punt VP436 però amb imatges de dimensió 30x30:

Imatge inicial	Frame	Correlació C74	Correlació C anterior	Posició respecte C74	
				Nº files	Nº columnes
C74	+54	0.4076	0.9375	+3	-8
	+53	0.4115	0.9261	+4	-11
	+52	0.3747	0.9733	+4	-12
	+51	0.2918	0.9459	+4	-14

Taula 4.3.2.3a: Desplaçament del punt p final des del frame 74 al 51 en imatges C.

El desplaçament horitzontal i vertical finals són iguals que en el cas de les imatges de dimensió B, 14 píxels cap a la dreta i 4 cap a baix si es considera el moviment des del frame 51 al 74. Les últimes correlacions màximes són molt elevades (0,926 fins a 0,946) i verifica la validesa dels resultats.

A continuació es presenta la taula on es resumeixen les correlacions:

	Correlació C74	Correlació C anterior
Mitjana	0,65	0,97
Mediana	0,59	0,97
Desviació tipus	1,27	0,01

Taula 4.3.2.3b: Resum de les correlacions.

Els resultats són positius ja que es troben altes correlacions en la segona columna. Pel que fa a la correlació amb C74, que és la imatge inicial, es pot dir que varia al llarg de l'estudi i que ho fa de forma gradual (mediana de 0,59).

4.3.2.4. Conclusions

En aquest cas els resultats tampoc no varien gaire entre les dimensions A, B i C i s'arriba a la mateixa conclusió en els tres casos: el nervi es desplaça cap a la dreta i cap a baix.

A continuació es presenta la mateixa taula resum que en el punt VP458 amb els desplaçaments i velocitat per cada dimensió A,B i C i la mitjana de desplaçament i velocitat entre les tres.

	A	B	C	Mitjana (píxels i píxels/segon)	Conversió de píxels a cm
Desplaçament vertical (píxels)	4,00	4,00	4,00	4,00	0,40
Desplaçament horitzontal (píxels)	-12,00	-14,00	-14,00	-13,33	-1,33
Desplaçament total (píxels)	12,65	14,56	14,56	13,92	1,39
Velocitat mitjana (píxels/segon)	6,88	6,88	6,70	6,82	0,68

Taula 4.3.2.4: Càlculs finals del punt VP436.

En aquest punt VP436 el desplaçament mitjà del nervi és de 1,39 cm i la velocitat de 0,68 cm/segon.

4.3.3. PUNT INICIAL: NX428

Es continua estudiant el vídeo on el nervi només es mou en una direcció.

Aquest cop s'estudia el punt NX428 el qual es troba una mica més cap a l'extrem esquerre del vídeo. D'aquesta manera s'estudien tres punts diferents del mateix vídeo i es comprova que no depèn d'on estigui situat el punt p per concloure la direcció del moviment.

A continuació es presenten part de les taules extretes d'aquest estudi realitzat també amb imatges A, B i C.

4.3.3.1. Subimatges A

La següent taula mostra els frames finals de l'estudi d'aquest punt. Es poden observar correlacions superiors a 0,9 i com el desplaçament del punt p ha estat l'esperat ja que el nombre de columnes augmenta a mesura que es reproduïx el vídeo. En altres paraules, el

nervi es desplaça cap a la dreta en el vídeo i en els resultats obtinguts.

Es pot observar també que el desplaçament final del punt p és de 5 columnes cap la dreta i s'ha mantingut en la mateixa fila.

Imatge inicial	Frame	Correlació A35	Correlació A anterior	Posició respecte A35	
				Nº files	Nº columnes
A35	A64	0.0737	0.9267	0	+4
	A65	0.0676	0.9265	0	+4
	A66	0.0732	0.9767	0	+5
	A67	0.0497	0.9778	0	+5

Taula 4.3.3.1a: Desplaçament del punt p final des del frame 35 al 67 en imatges A.

Els valors de correlació característics d'aquest punt p (NX428) pel que fa a les subimatges de dimensió A són els següents:

	Correlació A35	Correlació A anterior
Mitjana	0,27	0,91
Mediana	0,30	0,93
Desviació tipus	0,85	0,07

Taula 4.3.3.1b: Resum de les correlacions.

En la taula 4.3.3.1b s'observa una correlació mitjana elevada i constant entre les imatges de frames consecutius (0,91 de mitjana i 0,93 de mediana). Pel que fa a la correlació amb la imatge A35 s'observa una gran variació ja que el la meitat dels valors es troben per sota del 0,30. Per tant es conclou que la imatge inicial varia substancialment durant la reproducció.

4.3.3.2. Subimatges B

En el cas de les subimatges de dimensió 20x20, el punt p també es desplaça cap a la dreta però de forma més significativa, ja que enlloc de desplaçar-se 5 columnes se'n desplaça un total de 10. El desplaçament en la direcció vertical també és nul com en les imatges de dimensió A.

Imatge inicial	Frame	Correlació B35	Correlació B anterior	Posició respecte B35	
				Nº files	Nº columnes
B35	B64	0.0752	0.9455	0	+10
	B65	0.1074	0.9661	0	+10
	B66	0.1062	0.9834	0	+10
	B67	0.0931	0.9888	0	+10

Taula 4.3.3.2a: Desplaçament del punt p final des del frame 35 al 67 en imatges B.

En els resultats de les correlacions obtingudes s'arriba a les mateixes conclusions que en les subimatges A: la correlació és bona entre els frames consecutius i la imatge varia de forma considerable respecte la inicial B35. Els resultats es mostren en la taula següent:

	Correlació B35	Correlació B anterior
Mitjana	0,19	0,92
Mediana	0,12	0,93
Desviació tipus	1,10	0,07

Taula 4.3.3.2b: Resum de les correlacions.

4.3.3.3. Subimatges C

Pel que fa a les imatges de dimensió C, el desplaçament final és més semblant al cas B que al cas A. El desplaçament final del punt p és de 9 columnes cap a la dreta i cap en direcció vertical.

Imatge inicial	Frame	Correlació C35	Correlació C anterior	Posició respecte C35	
				Nº files	Nº columnes
C35	C64	0.2612	0.9491	-1	+9
	C65	0.2327	0.9645	0	+9
	C66	0.2308	0.9809	0	+9
	C67	0.2072	0.9864	0	+9

Taula 4.3.3.3a: Desplaçament del punt p final des del frame 35 al 67 en imatges C.

Les correlacions obtingudes en l'estudi evidencien que el moviment trobat és vàlid: es té una correlació de 0,96 de mitjana entre frames consecutius. Pel que fa a la imatge inicial C35 s'observa com la variació és important però tot i així no tant com en els resultats d'imatges A i B.

	Correlació C35	Correlació C anterior
Mitjana	0,57	0,96
Mediana	0,58	0,97
Desviació tipus	1,68	0,01

Taula 4.3.3.4: Resum de les correlacions trobades.

4.3.3.4. Conclusions

Es pot concloure pel punt NX428 que es mou cap a la dreta un total de 8 columnes i 0 files entre els frames 36 i 67. En la taula següent es presenta el resum de l'estudi d'aquest punt:

	A	B	C	Mitjana (píxels i píxels/segon)	Conversió de píxels a cm
Desplaçament vertical (píxels)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desplaçament horitzontal (píxels)	5,00	10,00	9,00	8,00	0,80
Desplaçament total (píxels)	5,00	10,00	9,00	8,00	0,80
Velocitat mitjana (píxels/segon)	4,95	3,57	4,06	4,19	0,42

Taula 4.3.3.4: Càlculs finals del punt NX428.

El desplaçament final en mòdul del punt *p* estudiat és de 0,80 cm cap a la dreta i una velocitat mitjana de 0,42 cm/segon.

Per tant el nervi en aquest punt es desplaça menys i amb una velocitat inferior que en els punts VP458 (0,55 cm/segon) i VP436 (0,68 cm/segon).

4.4. Resultats finals (vídeo 2)

En aquests resultats finals s'utilitza el vídeo 2 on el desplaçament es realitza en dues direccions. Per tant en els frames inicials el moviment hauria de ser en direcció contrària al moviment dels frames finals.

Com en els resultats finals del vídeo 1, les dades s'organitzen en el mateix tipus de taules les quals es troben en l'annex del document. L'estudi també es fa de la mateixa manera que en el vídeo 1 ja que es segueix el procediment explicat en la funció TrobaMatriu: la cerca de la imatge de correlació màxima es realitza entre imatges consecutives i no únicament amb la imatge inicial.

A continuació es presenten els dos punts estudiats en el vídeo:

4.4.1. PUNT INICIAL XK350

Aquest punt es troba en l'extrem dret del vídeo i s'escull perquè pertany a una zona on sembla més fàcil identificar el moviment. L'estudi del punt es realitza entre els frames 1 i 30, on sembla que el moviment s'atura per després avançar en direcció contrària.

Es presenten també els resultats per els tres tipus d'imatge A, B i C.

4.4.1.1. Subimatges A

Es comença per les imatges de 20x20 i s'obté la següent taula pels últims 4 frames estudiats:

Imatge inicial	Frame	Correlació A1	Correlació A anterior	Posició respecte A1	
				Nº files	Nº columnes
A1	A27	0.1986	0.9815	0	-4
	A28	0.2079	0.9818	0	-4
	A29	0.2087	0.9789	0	-4
	A30	0.2067	0.9803	0	-4

Taula 4.4.1.1a: Desplaçament del punt p final des del frame 1 al 30 en imatges A.

El moviment del punt p no sembla molt significatiu comparat amb els desplaçaments calculats del vídeo 1, on el desplaçaments eren superiors.

En aquest cas el desplaçament final és únicament horitzontal i cap a l'esquerra. S'intueix així que en el vídeo 2 primer s'observa el moviment de flexió del turmell perquè el desplaçament és en la direcció contrària al primer vídeo 1 (on es reproduïx l'extensió).

El resum de les correlacions és positiu:

	Correlació A1	Correlació A anterior
Mitjana	0,41	0,98
Mediana	0,45	0,96
Desviació tipus	1,81	0,01

Taula 4.4.1.1b: Resum de les correlacions.

La mitjana de correlacions màximes és de 0,98, amb una desviació tipus molt petita i una mediana molt propera a la mitjana.

Les correlacions amb la imatge inicial són baixes, és a dir que la imatge varia al llarg de la reproducció dels frames.

4.4.1.2. Subimatges B

En les imatges de dimensió 30x30 píxels s'obtenen els següents resultats en els últims 4 frames:

Imatge inicial	Frame	Correlació B1	Correlació B anterior	Posició respecte B1	
				Nº files	Nº columnes
B1	B27	0.1217	0.9866	0	-4
	B28	0.1276	0.9893	0	-4
	B29	0.1252	0.9886	0	-4
	B30	0.1222	0.9858	0	-4

Taula 4.4.1.2a: Desplaçament del punt p final des del frame 1 al 30 en imatges B.

Resulta un desplaçament final igual a 4 píxels cap a l'esquerra, tal i com també indica l'estudi de les imatges A. De la mateixa manera, en la direcció vertical no hi ha desplaçament.

A continuació es presenten el resum de les correlacions trobades:

	Correlació 1	Correlació B anterior
Mitjana	0,41	0,96
Mediana	0,41	0,97
Desviació tipus	2,43	0,01

Taula 4.4.1.2b: Resum de les correlacions.

Es troba que la correlació màxima és elevada (0,96) i constant. També s'observa que la imatge inicial ha variat de forma significativa al llarg de l'estudi.

4.4.1.3. Subimatges C

Les imatges tipus C són les de dimensió 40x40 píxels.

El resultat de l'estudi es resumeix en la següent taula:

Imatge inicial	Frame	Correlació C1	Correlació C anterior	Posició respecte C1	
				Nº files	Nº columnes
C1	C27	0.3643	0.9926	0	-3
	C28	0.3761	0.9946	0	-3
	C29	0.3489	0.9915	0	-3
	C30	0.3252	0.9897	0	-3

Taula 4.4.1.3a: Desplaçament del punt p final des del frame 1 al 30 en imatges C.

El desplaçament final en aquest cas és de 3 píxels negatius o cap a l'esquerra. En la direcció vertical no hi ha desplaçament tal i com també indiquen les imatges A i B.

Les correlacions obtingudes durant la reproducció dels trenta primers frames són les següents:

	Correlació C1	Correlació C anterior
Mitjana	0,56	0,98
Mediana	0,57	0,98
Desviació tipus	1,21	0,01

Taula 4.4.1.3b: Resum de les correlacions.

La correlació màxima mitjana és elevada i constant, cosa que fa que els resultats siguin vàlids. La imatge inicial C1 també varia considerablement com en els altres casos, tot i que ho fa d'una manera més suau.

4.4.1.4. Conclusions

La conclusió principal que es pot extreure en l'estudi d'aquest primer punt del vídeo 2 és que en la reproducció el nervi primer es desplaça cap a l'esquerra, a diferència del vídeo 1. Per tant com que en el primer vídeo s'estava visualitzant l'extensió del turmell, es pot afirmar clarament que en aquest cas es troba la flexió del moviment.

Tot i que els desplaçament són més lents i no tant clars com en el vídeo 1 la direcció que segueix el nervi sí que ho és. Per tant també es consideren vàlids els resultats i es presenta la taula final següent, on apareix el resum del desplaçament del punt XK350:

	A	B	C	Mitjana (píxels i píxels/segon)	Conversió de píxels a cm
Desplaçament vertical (píxels)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desplaçament horitzontal (píxels)	-4,00	-4,00	-3,00	-3,67	-0,37
Desplaçament total (píxels)	4,00	4,00	3,00	3,67	0,37
Velocitat mitjana (píxels/segon)	1,38	1,38	1,03	1,26	0,13

Taula 4.4.1.4: Càlculs finals del punt XK350.

El desplaçament final mitjà del punt és de 0,37 cm cap a l'esquerra i amb una velocitat de 0,13 cm/segon. Segons aquests resultats per tant el nervi es desplaça menys i més lentament que en el vídeo 1.

4.4.2. PUNT INICIAL PN365

A continuació es presenta l'estudi del punt PN365 que es troba en la part central del vídeo. L'elecció és conseqüència del moviment que s'hi observa en els últims frames, on sembla possible diferenciar el moviment.

La visualització comença en el frame 60 i acaba en el 95 i seguint la lògica, el desplaçament del nervi hauria de transcórrer en direcció oposada en l'anterior punt estudiat.

4.4.2.1. Subimatges A

Com és habitual s'estudien primer les imatges de dimensió reduïda 20x20 píxels. Es pot veure a continuació el resum de l'estudi:

Imatge inicial	Frame	Correlació A60	Correlació A anterior	Posició respecte A60	
				Nº files	Nº columnes
A60	A92	0.6871	0.9737	-3	+3
	A93	0.7000	0.9483	-3	+3
	A94	0.6695	0.9879	-3	+3
	A95	0.6636	0.9909	-3	+3

Taula 4.4.2.1a: Desplaçament del punt p final des del frame 60 al 95 en imatges A.

El desplaçament trobat, tal i com es podia preveure amb la visualització del vídeo, és en direcció contrària al del punt XK350 on el desplaçament era cap a l'esquerra. En aquest cas doncs el desplaçament és dóna cap a la dreta com en el vídeo 1 i es tracta de l'extensió del turmell. Tot i que la direcció obtinguda és la correcta, el desplaçament és inferior a l'estudi del vídeo 1, on el punt *p* es trobava més allunyat del punt inicial.

	Correlació A60	Correlació A anterior
Mitjana	0,70	0,96
Mediana	0,70	0,97
Desviació tipus	0,34	0,01

Taula 4.4.2.1b: Resum de les correlacions.

El resum de correlacions màximes mitjanes demostra que l'estudi és vàlid com en els casos anteriors. També s'observa com la imatge inicial no varia tant com en el vídeo 1 ja que la correlació mitjana amb la imatge inicial A60 és de 0,70, del mateix valor que la mediana.

4.4.2.2. Suimatges B

Els resultats finals trobats per les imatges de 30x30 píxels es mostra en la taula següent:

Imatge inicial	Frame	Correlació B60	Correlació B anterior	Posició respecte B60	
				Nº files	Nº columnes
B60	B92	0.4613	0.9740	-3	+3
	B93	0.4765	0.9580	-3	+3
	B94	0.4634	0.9888	-3	+3
	B95	0.4602	0.9909	-3	+3

Taula 4.4.2.2a: Desplaçament del punt p final des del frame 60 al 95 en imatges B.

Es donen exactament els mateixos resultats que en les imatges de dimensió A (3 píxels cap a baix i 3 cap a la dreta).

Pel que fa al resum de correlacions s'obté el següent:

	Correlació B35	Correlació B anterior
Mitjana	0,56	0,96
Mediana	0,53	0,96
Desviació tipus	0,46	0,01

Taula 4.4.2.2b: Resum de les correlacions.

La correlació amb la imatge inicial B35 és lleugerament inferior que en el cas A i la correlació màxima mitjana és la mateixa. Els resultats doncs són gairebé idèntics al trobats en A.

4.4.2.3. Subimatges C

A continuació s'observen els últims resultats d'aquest punt PN365:

Imatge inicial	Frame	Correlació C60	Correlació C anterior	Posició respecte C60	
				Nº files	Nº columnes
C60	C92	0.4037	0.9725	-2	+2
	C93	0.3882	0.9646	-2	+2
	C94	0.3841	0.9862	-2	+2
	C95	0.3776	0.9896	-2	+2

Taula 4.4.2.3a: Desplaçament del punt p final des del frame 60 al 95 en imatges C.

En aquest cas també els desplaçaments són inferiors que en A i B. Segons els resultats obtinguts en els punts del vídeo 2 es pot pensar que a major dimensió de les imatges disminueix la sensibilitat de moviment, és a dir, el desplaçament del punt p és menor degut a que la correlació màxima es dona sempre en el mateix punt.

	Correlació C35	Correlació C anterior
Mitjana	0,52	0,96
Mediana	0,50	0,96
Desviació tipus	0,77	0,01

Taula 4.4.2.3b: Resum de les correlacions C35 i C anterior.

Resumidament les correlacions en les imatges tipus C són també elevades i constants pel que fa a les trobades entre frames consecutius. Aquelles trobades amb la imatge inicial són més baixes (mitjana de 0,52).

4.4.2.4. Conclusions

Es vol fer notar que en l'estudi del vídeo 2 la mitjana de correlació amb les imatges inicials són lleugerament superiors que en el vídeo 1, i per tant les imatges no varien tant durant la reproducció dels frames. Aquest fet pot comportar aquesta reducció de sensibilitat i fer que el moviment sembli més lent del que és. Com que les imatges consecutives són més semblants que en el vídeo 1, el càlcul específic del desplaçament del punt p és més difícil.

A continuació es presenten els resultats finals del punt PN365, amb els desplaçaments i velocitats corresponents del punt.

	A	B	C	Mitjana (píxels i píxels/segon)	Conversió de píxels a cm
Desplaçament vertical (píxels)	-3,00	-3,00	-2,00	-2,67	-0,27
Desplaçament horitzontal (píxels)	3,00	3,00	2,00	2,67	0,27
Desplaçament total (píxels)	4,24	4,24	2,83	3,77	0,38
Velocitat mitjana (píxels/segon)	1,55	1,55	1,14	1,41	0,14

Taula 4.4.2.4: Càlculs finals del punt PN365.

S'obté un desplaçament de 0,38 cm cap a la dreta i una velocitat del nervi mitjana de 0,14 cm/segon. Aquests resultats són molt semblats als trobats en l'altre punt d'aquest mateix vídeo 2, on es recorda que s'ha trobat un desplaçament de 0,37 cm cap a l'esquerra i una velocitat de 0,13 cm/segon.

Ambdós resultats són gairebé idèntics per la qual cosa es pot dir que el comportament del nervi durant l'extensió i flexió del turmell és molt similar tot i que sigui de direcció oposada.

Conclusions

En aquest apartat es vol reflectir no només les conclusions numèriques del treball sinó també totes aquelles deduccions que han resultat en conseqüència de l'estudi.

Una primera conclusió clara que s'extreu de la realització del treball i del document és que l'organització del gran nombre de dades és bàsica per treballar àgilment. Per aquesta raó la creació d'una nomenclatura pròpia i la definició concreta de les variables amb les que es treballa resulta tan interessant. Durant tot el document apareixen aquests termes propis creats i el seu significat es pot trobar tant en la memòria com sintetitzats en el glossari.

Durant el document es presenten de forma ordenada els diferents valors de correlació que s'han anat obtenint per les diferents tipologies d'estudi. En un primer moment només s'usava les funcions LoadEcografia i CrossCorrelation, i ni els resultats ni el procediment eren els adequats ja que les correlacions trobades eren molt baixes i la metodologia seguida era lenta i poc productiva. Per tant es busca una manera per fer de la cerca del moviment del nervi una tasca més senzilla.

La solució apareix de la mà del MATLAB, eina amb la qual s'ha automatitzat el procés gràcies a les diferents funcions i scripts que s'han creat. Es voldria comentar que l'ús del software ha anat variant durant la realització del treball de tal manera que a poc a poc el procés per aconseguir el tracking dels punts ha esdevingut més ràpid. Aquesta millora ve propiciada per substituir en gran mesura l'ús del programa Excel pel software MATLAB, on amb les comandes adequades la informació s'obté ràpidament.

Quan el procés s'automatitza amb la utilització de la funció TrobaMatriu, s'arriben als segons resultats, on la matriu de correlació màxima s'obté sempre comparant la matriu del frame inicial amb la del frame a estudi. Els resultats que s'obtenen no són positius ja que la correlació màxima es va reduint de forma considerable a mesura que transcorre la reproducció de frames. En les taules presentades es pot veure com aquesta correlació pren valors baixos i evidencia que la metodologia no és vàlida. Tot i així aquestes taules aporten informació útil alhora de trobar el procediment correcte de resolució: en la columna on apareix la correlació entre el frame inicial i l'anterior es troben valors constants i elevats de l'ordre 0,9 o superior. S'arriba a la conclusió que la imatge va variant considerablement al llarg dels frames i per tant no és correcte comparar sempre la matriu inicial amb la del frame en estudi. Finalment s'arriba al procediment de resolució correcte, en el qual per trobar la matriu de màxima correlació es comparen les matrius dels frames consecutius.

Amb aquestes metodologia s'aconsegueixen trobar valors de correlació constants i elevats amb els quals es pot afirmar que els resultats són vàlids. Els primers punts estudiats

s'extreuen del vídeo número 1, en el qual el moviment només és en una direcció. El punt VP458, que és el primer en estudi, forma part d'una petita zona del vídeo més blanquinosa que es veu avançar cap a la dreta, cosa que coincideix amb els resultats obtinguts (desplaçament de 0,8 cm cap a la dreta i una velocitat mitjana de 0,68 cm/segon). Per tant es consideren bons els resultats obtinguts i es confirmen amb els punts VP436 i NX428, on el moviment també és cap a la dreta (1,39 cm i 0,8 respectivament). Per tal de visualitzar els resultats es crea l'script PuntVermell que introdueix mitjançant un polsador la posició calculada dels punts estudiats en el vídeo. En aquest es pot veure com el polsador del punt VP458 segueix la petita zona blanquinosa, fent evident que els càlculs són correctes.

Un cop conegut el moviment en el vídeo número 1 s'estudia el vídeo número 2, on el nervi canvia de direcció. Les imatges que el conformen no són tan clares com en el primer vídeo i els desplaçaments obtinguts no són tan bons. Tot i així amb l'estudi del punt XK350 es pot comprovar que el desplaçament és cap a l'esquerra durant els frames inicials i amb el punt PN365 es pot veure que el moviment és cap a la dreta durant els frames finals. Com que les correlacions màximes obtingudes són altes i constants i el canvi de direcció coincideix amb el que es pot veure amb el vídeo, es conclou que els resultats són vàlids.

Els resultats finals d'aquests punts són d'un desplaçament de 0,37 cm a l'esquerra amb una velocitat de 0,13 cm/segon pel punt XK350 i de 0,38 cm a la dreta amb 0,14 cm/segon pel punt PN365. Es conclou que el comportament del moviment és gairebé idèntic en la flexió i l'extensió del turmell, tot i que de direcció oposada.

Així doncs es pot concloure que el moviment màxim trobat és de 1,39 cm cap a la dreta. Aquest valor és raonable ja que és inferior al valor trobat per F. Ellis et.al en el seu informe. Com s'ha explicat en el punt [1.Introducció](#), en el seu estudi es calcula el desplaçament del nervi durant el moviment d'extensió de columna cervical i de genoll simultàniament i s'obté un resultat de 3,2 cm. Per tant el valor de 1,39 cm té sentit i revela que durant el moviment d'extensió de turmell el nervi no es veu tan compromès.

Per últim també s'arriba a la conclusió que la metodologia emprada es pot extrapolar a l'estudi de vídeos de les mateixes característiques, ja que les funcions i scripts s'han creat de la forma més genèrica possible. Per tant si es treballés amb imatges extretes d'altres vídeos també es podria realitzar l'estudi de la mateixa manera i es podria arribar a resultats vàlids per a la detecció del moviment dels nervis.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] F. ELLIS, A. HING i J.MCNAIR (2012): Comparison of Longitudinal Sciatic Nerve Movement With Different Mobilization Exercises: An In Vivo Study Utilizing Ultrasound Imaging. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, 42, p. 667-675.
- [2] A. DILLEY, J. GREENING, B. LYNN, R. LEARY i V. MORRIS (2001): The use of cross-correlation analysis between high-frequency ultrasound images to measure longitudinal median nerve movement. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 27, p. 1211-1218.
- [3] MASLO, P: *Las dolencias de la espalda*, Barcelona: 2001. Editorial Paidotribo, p. 48-51.
- [4] LIPSCHUTZ, S i SCHILLER, J: *Introducción a la probabilidad y estadística*. Madrid: 2000. McGraw-Hill, Inc, p. 257-269.
- [5] COLLINS, R: *Intro to Template Matching and the Lucas-Kanade Metho*. Normalized Cross Correlation.
[http://www.cse.psu.edu/~rtc12/CSE598G/LKintro_6pp.pdf, 1 de març de 2016].
- [6] SUSÍN, T: *Image Processig Toolbox*. Barcelona: Polytechnic University of Catalonia.
- [7] COLOROTATE. Color Theory and Color Models.
[<http://learn.colorotate.org/color-models/#.V97QGZiLTIV>, 5 d'agost de 2016].
- [8] UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. Grupo de Ingeniería Gráfica: *El color*.
[http://web.archive.org/web/20110906142112/http://www.gig.etsii.upm.es/pdf/doctorado/EL_COLOR.pdf, 14 d'agost de 2016].
- [9] MATHWORKS. *Image Processing Toolbox* . User's Guide.
[http://cmp.felk.cvut.cz/~perdom1/vyuka/dzo/cv1/images_tb.pdf, 17 d'agost de 2016].
- [10] MATHWORKS. Descripció general de MATLAB. EL llenguatge del càlcul tècnic.

[http://es.mathworks.com/products/MATLAB/index.html?s_tid=gn_loc_drop, 18 d'agost de 2016].

[11] MATHWORKS. Descripció general de MATLAB. EL llenguatge del càlcul tècnic.

[http://es.mathworks.com/products/MATLAB/index.html?s_tid=gn_loc_drop, 18 d'agost de 2016].

[12] MATHWORKS. Working with Images in MATLAB Graphics.

[http://es.mathworks.com/help/MATLAB/creating_plots/working-with-images-in-MATLAB-graphics.html, 13 de setembre de 2016].

[13] UNIVERSITAT DE GIRONA. *Anàlisi i processament d'imatges*.

[<http://eia.udg.es/~draba/AIPI/MATLAB.pdf>, 14 de setembre de 2016].

[14] FERNÁNDEZ, O: *Mediana, Media, Moda, Varianza y Desviación estandar*.

[https://prezi.com/jf9_elcavav8/media-mediana-moda-varianza-desviacion-estandar, 18 de setembre de 2016].

Glossari

En aquest capítol es presenta una llista amb totes les abreviatures, acrònims i termes propis del treball per tal de facilitar la comprensió del mateix.

Vocabulari

Frame	Imatge que forma els vídeos. La reproducció successiva de frames és la reproducció del vídeo.
Scripts	Arxius de MATLAB que executen ordres o instruccions sense cap paràmetre d'entrada.
Funcions	Arxius de MATLAB que executen ordres o instruccions amb paràmetres d'entrada els quals es poden modificar segons convingui.

Scripts i Funcions

LoadEcografia	Script amb el qual es pot reproduir els vídeos. Retorna els paràmetres Aorig i Asub.
CrossCorrelation	Funció amb la que es calcula la correlació entre dues imatges d'iguals dimensions. Retorna el valor de correlació (entre -1 i 1).
TrobaMatriu	Funció que calcula el desplaçament del punt p des de f a g.
PuntVermell	Script amb el qual es pot reproduir els vídeos amb els desplaçaments dels punts p estudiats. No retorna cap paràmetre.

Termes propis utilitzats

Matriu Aorig	Matriu que es genera amb la funció LoadEcografia. Aquesta matriu és una imatge que es crea automàticament i conté tota la informació del frame.
Matriu Asub	Matriu que es genera amb la funció LoadEcografia. Permet seleccionar una subimatge en la imatge original mitjançant el cursor. Aquesta subimatge només conté informació del nervi i no de tota la cama.
Matriu f	Aquesta matriu és un paràmetre d'entrada en la funció TrobaMatriu. És la matriu original amb la que es vol trobar la màxima correlació. Té dimensió A, B o C.
Matriu go	Paràmetre d'entrada de la funció TrobaMatriu. És la matriu que es recorre per tal de trobar-ne una que sigui de màxima correlació respecte f. Té dimensions 120x120.
Matriu g	Paràmetre de sortida de la funció TrobaMatriu. És la matriu de dimensió A, B o C que té màxima correlació amb f.
Punt p	Punt que s'escull per tenir una referència de posició. És paràmetre de sortida de la funció TrobaMatriu i indica el nombre de píxels que s'ha desplaçat g respecte f.

5. Annex

5.1.1. Resultats finals (vídeo 1)

5.1.1.1. PUNT INICIAL: VP458

5.1.1.1.1 Subimatges A

Imatge inicial (frame 73)	Frame	Correlació A73	Correlació A anterior	Posició respecte A73		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
	+72	0.9952	0.9952	0	0	0,00	0,00
	+71	0.9839	0.9932	0	0	0,00	0,00
	+70	0.9606	0.9878	0	0	0,00	0,00
	+69	0.9466	0.9936	0	0	0,00	0,00
	+68	0.9319	0.9918	0	0	0,00	0,00
	+67	0.9253	0.9880	0	0	0,00	0,00
	+66	0.9074	0.9897	0	0	0,00	0,00
	+65	0.8625	0.9736	0	0	0,00	0,00
	+64	0.8305	0.9876	0	0	0,00	0,00
	+63	0.7469	0.9630	0	0	0,00	0,00
	+62	0.7362	0.9709	+1	+1	1,41	14,14
	+61	0.6566	0.9741	+1	0	1,00	10,00
	+60	0.5662	0.9775	+1	-1	1,41	14,14
	+59	0.6347	0.9713	+2	-2	1,00	10,00
	+58	0.5276	0.9660	+2	-4	2,00	20,00
	+57	0.4701	0.9776	+2	-5	1,00	10,00
	+56	0.4528	0.9605	+2	-6	1,00	10,00
	+55	0.3908	0.9790	+2	-6	0,00	0,00
	+54	0.4003	0.9871	+2	-7	1,00	10,00
	+53	0.4079	0.9857	+2	-8	1,00	10,00
	+52	0.3924	0.9815	+2	-9	1,00	10,00
	+51	0.4077	0.9819	+2	-9	0,00	0,00
	+50	0.3988	0.9519	+3	-14	5,10	50,99
Velocitat mitjana total:							7,36

5.1.1.1.2 Subimatges B

Imatge inicial (frame 73)	Frame	Correlació B73	Correlació B anterior	Posició respecte B73		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
	+72	0.9931	0.9931	0	0	0,00	0,00
	+71	0.9775	0.9905	0	0	0,00	0,00
	+70	0.9637	0.9910	0	0	0,00	0,00
	+69	0.9520	0.9908	0	0	0,00	0,00
	+68	0.9317	0.9901	0	0	0,00	0,00
	+67	0.9085	0.9846	0	0	0,00	0,00
	+66	0.8851	0.9896	0	0	0,00	0,00
	+65	0.8481	0.9769	0	0	0,00	0,00
	+64	0.8441	0.9865	0	0	0,00	0,00
	+63	0.7989	0.9741	0	0	0,00	0,00
	+62	0.7845	0.9724	+1	0	1,00	10,00

	+61	0.7346	0.9755	+1	-1	1,00	10,00
	+60	0.6791	0.9755	+1	-2	1,00	10,00
	+59	0.7008	0.9759	+2	-3	1,41	14,14
	+58	0.6370	0.9659	+2	-4	1,00	10,00
	+57	0.5965	0.9719	+2	-5	1,00	10,00
	+56	0.6319	0.9573	+3	-7	2,24	22,36
	+55	0.6050	0.9715	+3	-7	0,00	0,00
	+54	0.5947	0.9768	+3	-7	0,00	0,00
	+53	0.6056	0.9778	+3	-8	1,00	10,00
	+52	0.5933	0.9690	+3	-9	1,00	10,00
	+51	0.5874	0.9746	+3	-9	0,00	0,00
	+50	0.6088	0.9437	+3	-10	1,00	10,00
Velocitat mitjana total:							5,07

5.1.1.1.3 Subimatges C

	Frame	Correlació C73	Correlació C anterior	Posició respecte C73		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
Imatge inicial (frame 73)	+72	0.9946	0.9946	0	0	0,00	0,00
	+71	0.9794	0.9905	0	0	0,00	0,00
	+70	0.9636	0.9914	0	0	0,00	0,00
	+69	0.9511	0.9913	0	0	0,00	0,00
	+68	0.9307	0.9904	0	0	0,00	0,00
	+67	0.9025	0.9858	0	0	0,00	0,00
	+66	0.8877	0.9912	0	0	0,00	0,00
	+65	0.8617	0.9795	0	0	0,00	0,00
	+64	0.8607	0.9862	0	0	0,00	0,00
	+63	0.8264	0.9778	0	0	0,00	0,00
	+62	0.7984	0.9712	+1	+1	1,41	14,14
	+61	0.7734	0.9776	+1	+1	0,00	0,00
	+60	0.7394	0.9819	+1	0	1,00	10,00
	+59	0.7510	0.9732	+2	0	1,00	10,00
	+58	0.7792	0.9656	+3	-1	1,41	14,14
	+57	0.7399	0.9727	+3	-2	1,00	10,00
	+56	0.7433	0.9606	+4	-4	2,24	22,36
	+55	0.7271	0.9687	+4	-4	0,00	0,00
	+54	0.7154	0.9828	+4	-4	0,00	0,00
	+53	0.7048	0.9763	+4	-5	1,00	10,00
	+52	0.7053	0.9688	+4	-5	0,00	0,00
	+51	0.7194	0.9744	+4	-5	0,00	0,00
	+50	0.7204	0.9487	+4	-5	0,00	0,00
Velocitat mitjana total:							3,94

5.1.1.2. PUNT INICIAL: VP436

5.1.1.2.1 Subimatges A

Imatge inicial	Frame	Correlació A74	Correlació A anterior	Posició respecte A74		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
A74	+73	0.9899	0.9899	0	0	0,00	0,00
	+72	0.9734	0.9812	0	-1	1,00	10,00
	+71	0.9467	0.9809	0	-1	0,00	0,00
	+70	0.9211	0.9848	0	-1	0,00	0,00
	+69	0.9033	0.9880	0	-1	0,00	0,00
	+68	0.9004	0.9831	0	-1	0,00	0,00
	+67	0.8602	0.9840	0	-1	0,00	0,00
	+66	0.7713	0.9676	0	-1	0,00	0,00
	+65	0.7167	0.9682	0	-1	0,00	0,00
	+64	0.5410	0.9032	0	-1	0,00	0,00
	+63	0.5069	0.8904	+1	-1	1,00	10,00
	+62	0.5251	0.8763	+2	-2	1,41	14,14
	+61	0.3965	0.9231	+2	-2	0,00	0,00
	+60	0.3158	0.9154	+2	-2	0,00	0,00
	+59	0.1176	0.9061	+2	-3	1,00	10,00
	+58	0.0043	0.9595	+2	-4	1,00	10,00
	+57	0.1090	0.9353	+2	-5	1,00	10,00
	+56	0.1628	0.9366	+2	-6	1,00	10,00
	+55	0.1090	0.9366	+2	-5	1,00	10,00
	+54	0.1391	0.9521	+3	-7	2,24	22,36
	+53	0.0587	0.9384	+4	-10	3,16	31,62
	+52	0.1305	0.9631	+4	-11	1,00	10,00
	+51	0.1830	0.9508	+4	-12	1,00	10,00
Velocitat mitjana total:							6,88

5.1.1.2.2 Subimatges B

Imatge inicial	Frame	Correlació B74	Correlació B anterior	Posició respecte B74		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
B74	+73	0.9930	0.9930	0	0	0,00	0,00
	+72	0.9836	0.9867	0	-1	1,00	10,00
	+71	0.9568	0.9826	0	-1	0,00	0,00
	+70	0.9332	0.9878	0	-1	0,00	0,00
	+69	0.9165	0.9907	0	-1	0,00	0,00
	+68	0.8980	0.9765	0	-1	0,00	0,00
	+67	0.8488	0.9829	0	-1	0,00	0,00

	+66	0.7499	0.9682	0	-1	0,00	0,00
	+65	0.6970	0.9718	0	-1	0,00	0,00
	+64	0.5397	0.9198	0	-1	0,00	0,00
	+63	0.5467	0.9348	+1	-1	1,00	10,00
	+62	0.3573	0.9410	+1	-1	0,00	0,00
	+61	0.1908	0.9533	+1	-1	0,00	0,00
	+60	0.3597	0.9174	+2	-2	1,41	14,14
	+59	0.1832	0.9275	+2	-3	1,00	10,00
	+58	0.0617	0.9623	+2	-4	1,00	10,00
	+57	0.0733	0.9331	+2	-6	2,00	20,00
	+56	0.1986	0.9424	+2	-6	0,00	0,00
	+55	0.0733	0.9424	+2	-6	0,00	0,00
	+54	0.0208	0.9447	+3	-8	2,24	22,36
	+53	0.0692	0.9365	+4	-11	3,16	31,62
	+52	0.0270	0.9622	+4	-12	1,00	10,00
	+51	0.1564	0.9333	+4	-14	2,00	20,00
Velocitat mitjana total:							6,88

5.1.1.2.3 Subimatges C

Imatge inicial (frame 74)	Frame	Correlació C74	Correlació C anterior	Posició respecte C74		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
C74	+73	0.9918	0.9918	0	0	0,00	0,00
	+72	0.9725	0.9879	0	0	0,00	0,00
	+71	0.9538	0.9867	0	0	0,00	0,00
	+70	0.9421	0.9902	0	0	0,00	0,00
	+69	0.9296	0.9905	0	0	0,00	0,00
	+68	0.9049	0.9769	0	0	0,00	0,00
	+67	0.8782	0.9890	0	0	0,00	0,00
	+66	0.8238	0.9748	0	0	0,00	0,00
	+65	0.8004	0.9800	0	0	0,00	0,00
	+64	0.7222	0.9599	0	0	0,00	0,00
	+63	0.6973	0.9431	+1	0	1,00	10,00
	+62	0.5921	0.9580	+1	-1	1,00	10,00
	+61	0.5119	0.9633	+1	-1	0,00	0,00
	+60	0.5874	0.9397	+2	-2	1,41	14,14
	+59	0.5012	0.9443	+2	-3	1,00	10,00
	+58	0.4542	0.9667	+2	-4	1,00	10,00
	+57	0.4062	0.9571	+2	-6	2,00	20,00
	+56	0.3570	0.9658	+2	-6	0,00	0,00
	+55	0.4062	0.9658	+2	-6	0,00	0,00
	+54	0.4076	0.9375	+3	-8	2,00	20,00
	+53	0.4115	0.9261	+4	-11	3,00	30,00
	+52	0.3747	0.9733	+4	-12	1,00	10,00

	+51	0.2918	0.9459	+4	-14	2,00	20,00
Velocitat mitjana total:							6,70

PUNT INICIAL: NX428

5.1.1.2.4 Subimatges A

Imatge inicial (frame 35)	Frame	Correlació A35	Correlació A anterior	Posició respecte A35		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
	A36	0.8365	0.8365	+1	-1	1,41	14,14
	A38	0.3013	0.8355	+1	-1	0,00	0,00
	A39	0.3356	0.8019	+1	-2	1,00	10,00
	A40	0.3337	0.9307	+1	-2	0,00	0,00
	A41	0.2926	0.9047	+1	-2	0,00	0,00
	A42	0.3076	0.8273	+1	-2	0,00	0,00
	A43	0.3287	0.8989	+1	-2	0,00	0,00
	A44	0.3740	0.8286	+1	-1	1,00	10,00
	A45	0.3711	0.9428	+1	0	1,00	10,00
	A46	0.3475	0.9727	+1	+1	1,00	10,00
	A47	0.3410	0.9378	+1	+2	1,00	10,00
	A48	0.3498	0.9541	+1	+2	0,00	0,00
	A49	0.3813	0.9621	+1	+2	0,00	0,00
	A50	0.4543	0.8771	+1	+3	1,00	10,00
	A51	0.3355	0.8900	+1	+4	1,00	10,00
	A52	0.2590	0.9311	+1	+5	1,00	10,00
	A53	0.1823	0.8865	+1	+6	1,00	10,00
	A54	0.1593	0.9439	+1	+7	1,00	10,00
	A55	0.0962	0.9668	+1	+7	0,00	0,00
	A56	0.0619	0.9300	+1	+7	0,00	0,00
	A57	0.0390	0.9121	+1	+7	0,00	0,00
	A58	0.1468	0.9534	+1	+7	0,00	0,00
	A59	0.2142	0.8722	+1	+6	1,00	10,00
	A60	0.3039	0.8731	+1	+6	0,00	0,00
	A61	0.3002	0.9652	+1	+6	0,00	0,00
	A62	0.2441	0.9144	+1	+6	0,00	0,00
	A63	0.1031	0.9328	0	+5	1,41	14,14
	A64	0.0737	0.9267	0	+4	1,00	10,00
	A65	0.0676	0.9265	0	+4	0,00	0,00
	A66	0.0732	0.9767	0	+5	1,00	10,00
A67	0.0497	0.9778	0	+5	0,00	0,00	
Velocitat mitjana total:						4,95	

5.1.1.2.5 Subimatges B

Imatge inicial (frame 35)	Frame	Correlació A35	Correlació A anterior	Posició respecte A35		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
	B36	0.7613	0.7613	+1	+1	1,41	14,14
	B37	0.5554	0.8879	+1	+1	0,00	0,00
	B38	0.4915	0.8890	+1	+1	0,00	0,00
	B39	0.4473	0.9625	+1	+2	1,00	10,00
	B40	0.4046	0.9398	+1	+3	1,00	10,00
	B41	0.3536	0.9071	+1	+3	0,00	0,00
	B42	0.3536	0.9302	+1	+4	1,00	10,00
	B43	0.3064	0.8978	+1	+4	0,00	0,00
	B44	0.3536	0.9004	+1	+5	1,00	10,00
	B45	0.1765	0.9414	+1	+5	0,00	0,00
	B46	0.1525	0.9684	+1	+5	0,00	0,00
	B47	0.1233	0.9214	+1	+6	1,00	10,00
	B48	0.0892	0.9589	+1	+6	0,00	0,00
	B49	0.0094	0.9503	+1	+6	0,00	0,00
	B50	-0.0078	0.8255	+1	+7	1,00	10,00
	B51	-0.0108	0.8482	+1	+8	1,00	10,00
	B52	-0.0218	0.9350	+1	+8	0,00	0,00
	B53	-0.0143	0.9252	+1	+9	1,00	10,00
	B54	0.0452	0.9301	+1	+10	1,00	10,00
	B55	0.0402	0.9708	+1	+10	0,00	0,00
	B56	0.0626	0.9261	+1	+10	0,00	0,00
	B57	0.1050	0.9074	+1	+10	0,00	0,00
	B58	0.1551	0.9600	+1	+10	0,00	0,00
	B59	0.1454	0.8883	+1	+10	0,00	0,00
	B60	0.1496	0.9206	+1	+10	0,00	0,00
	B61	0.1518	0.9664	+1	+10	0,00	0,00
	B62	0.1041	0.9227	+1	+10	0,00	0,00
	B63	0.0617	0.9168	0	+10	1,00	10,00
	B64	0.0752	0.9455	0	+10	0,00	0,00
	B65	0.1074	0.9661	0	+10	0,00	0,00
	B66	0.1062	0.9834	0	+10	0,00	0,00
	B67	0.0931	0.9888	0	+10	0,00	0,00
Velocitat mitjana total:							3,57

5.1.1.2.6 Subimatges C

Imatge inicial (frame 35)	Frame	Correlació C35	Correlació C anterior	Posició respecte C35		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
	C36	0.9319	0.9319	+1	0	1,00	10,00
	C37	0.8747	0.9663	+1	0	0,00	0,00
	C38	0.8680	0.9650	+1	0	0,00	0,00
	C39	0.8415	0.9659	+1	0	0,00	0,00
	C40	0.8149	0.9853	+1	+1	1,00	10,00
	C41	0.8288	0.9738	+1	+1	0,00	0,00
	C42	0.8117	0.9670	+1	+1	0,00	0,00
	C43	0.7956	0.9769	+1	+1	0,00	0,00
	C44	0.7965	0.9474	+1	+2	1,00	10,00
	C45	0.7532	0.9684	+1	+2	0,00	0,00
	C46	0.7358	0.9892	+1	+2	0,00	0,00
	C47	0.7313	0.9910	+1	+3	1,00	10,00
	C48	0.7264	0.9486	+1	+4	1,00	10,00
	C49	0.7199	0.9841	+1	+4	0,00	0,00
	C50	0.7004	0.9477	+1	+5	1,00	10,00
	C51	0.6155	0.9370	+1	+6	1,00	10,00
	C52	0.5466	0.9667	+1	+7	1,00	10,00
	C53	0.5002	0.9624	+1	+8	1,00	10,00
	C54	0.4598	0.9554	+1	+9	1,00	10,00
	C55	0.4332	0.9805	+1	+9	0,00	0,00
	C56	0.4041	0.9592	+1	+9	0,00	0,00
	C57	0.3821	0.9438	+1	+9	0,00	0,00
	C58	0.3779	0.9745	+1	+9	0,00	0,00
	C59	0.3825	0.9353	+1	+9	0,00	0,00
	C60	0.3834	0.9456	+1	+9	0,00	0,00
	C61	0.3607	0.9735	+1	+9	0,00	0,00
	C62	0.3117	0.9373	+1	+9	0,00	0,00
	C63	0.2943	0.9369	0	+9	1,00	10,00
	C64	0.2612	0.9491	-1	+9	1,00	10,00
	C65	0.2327	0.9645	0	+9	1,00	10,00
	C66	0.2308	0.9809	0	+9	0,00	0,00
	C67	0.2072	0.9864	0	+9	0,00	0,00
Velocitat mitjana total:							4,06

5.1.2. Resultats finals (vídeo 2)

5.1.2.1. PUNT INICIAL: XK350

5.1.2.1.1 Subimatges A

Imatge inicial (frame 1)	Frame	Correlació A1	Correlació A anterior	Posició respecte A1		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
	A17	0.3967	0.9423	0	-3	0,00	0,00
	A18	0.2933	0.9402	0	-4	1,00	10,00
	A19	0.1970	0.9515	0	-4	0,00	0,00
	A20	0.1043	0.9591	0	-4	0,00	0,00
	A21	0.1074	0.9697	0	-4	0,00	0,00
	A22	0.1237	0.9584	0	-4	0,00	0,00
	A23	0.1402	0.9725	0	-4	0,00	0,00
	A24	0.1275	0.9803	0	-4	0,00	0,00
	A25	0.1701	0.9800	0	-4	0,00	0,00
	A26	0.1737	0.9780	0	-4	0,00	0,00
	A27	0.1986	0.9815	0	-4	0,00	0,00
	A28	0.2079	0.9818	0	-4	0,00	0,00
	A29	0.2087	0.9789	0	-4	0,00	0,00
	A30	0.2067	0.9803	0	-4	0,00	0,00
Velocitat mitjana total:							1,38

5.1.2.1.2 Subimatges B

Imatge inicial (frame 1)	Frame	Correlació B1	Correlació B anterior	Posició respecte B1		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
	B16	0.4077	0.9725	0	-4	0,00	0,00
	B17	0.3668	0.9551	0	-4	0,00	0,00
	B18	0.3000	0.9547	0	-4	0,00	0,00
	B19	0.2306	0.9605	0	-4	0,00	0,00
	B20	0.1785	0.9673	0	-4	0,00	0,00
	B21	0.1173	0.9728	0	-4	0,00	0,00
	B22	0.0966	0.9728	0	-4	0,00	0,00
	B23	0.1056	0.9668	0	-4	0,00	0,00
	B24	0.1066	0.9815	0	-4	0,00	0,00
	B25	0.0941	0.9875	0	-4	0,00	0,00
	B26	0.1220	0.9842	0	-4	0,00	0,00
	B27	0.1217	0.9866	0	-4	0,00	0,00
	B28	0.1276	0.9893	0	-4	0,00	0,00
	B29	0.1252	0.9886	0	-4	0,00	0,00
	B30	0.1222	0.9858	0	-4	0,00	0,00
Velocitat mitjana total:							1,38

5.1.2.1.3 Subimatges C

Imatge inicial (frame 1)	Frame	Correlació C1	Correlació C anterior	Posició respecte C1		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
	C16	0.6260	0.9861	0	-3	0,00	0,00
	C17	0.5845	0.9751	0	-3	0,00	0,00
	C18	0.5273	0.9746	0	-3	0,00	0,00
	C19	0.4616	0.9803	0	-3	0,00	0,00
	C20	0.4135	0.9794	0	-3	0,00	0,00
	C21	0.3946	0.9806	0	-3	0,00	0,00
	C22	0.3685	0.9831	0	-3	0,00	0,00
	C23	0.3387	0.9804	0	-3	0,00	0,00
	C24	0.3279	0.9878	0	-3	0,00	0,00
	C25	0.3167	0.9930	0	-3	0,00	0,00
	C26	0.3495	0.9881	0	-3	0,00	0,00
	C27	0.3643	0.9926	0	-3	0,00	0,00
	C28	0.3761	0.9946	0	-3	0,00	0,00
	C29	0.3489	0.9915	0	-3	0,00	0,00
	C30	0.3252	0.9897	0	-3	0,00	0,00
Velocitat mitjana total:							1,03

5.1.2.2. PUNT INICIAL: PN365

5.1.2.2.1 Subimatges A

Imatge inicial (frame 60)	Frame	Correlació A60	Correlació A anterior	Posició respecte A60		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament en mòdul (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
	A81	0.7200	0.9670	-3	+3	0,00	0,00
	A82	0.7370	0.9774	-3	+3	0,00	0,00
	A83	0.7255	0.9695	-3	+3	0,00	0,00
	A84	0.6935	0.9440	-3	+3	0,00	0,00
	A85	0.7046	0.9760	-3	+3	0,00	0,00
	A86	0.7566	0.9695	-3	+3	0,00	0,00
	A87	0.8104	0.9581	-3	+3	0,00	0,00
	A88	0.8087	0.9841	-3	+3	0,00	0,00
	A89	0.7801	0.9588	-3	+3	0,00	0,00
	A90	0.7495	0.9720	-3	+3	0,00	0,00
	A91	0.7309	0.9763	-3	+3	0,00	0,00
	A92	0.6871	0.9737	-3	+3	0,00	0,00
	A93	0.7000	0.9483	-3	+3	0,00	0,00

	A94	0.6695	0.9879	-3	+3	0,00	0,00
	A95	0.6636	0.9909	-3	+3	0,00	0,00
Velocitat mitjana total:							1,55

5.1.2.2.2 Subimatges B

	Frame	Correlació B60	Correlació B anterior	Posició respecte B60		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
Imatge inicial (frame60)	B74	0.5425	0.9808	-3	+3	0,00	0,00
	B83	0.5345	0.9626	-3	+3	0,00	0,00
	B84	0.5290	0.9443	-3	+3	0,00	0,00
	B85	0.5464	0.9739	-3	+3	0,00	0,00
	B86	0.5907	0.9683	-3	+3	0,00	0,00
	B87	0.5618	0.9567	-3	+3	0,00	0,00
	B88	0.5635	0.9759	-3	+3	0,00	0,00
	B89	0.5642	0.9607	-3	+3	0,00	0,00
	B90	0.5307	0.9702	-3	+3	0,00	0,00
	B91	0.5328	0.9719	-3	+3	0,00	0,00
	B92	0.4613	0.9740	-3	+3	0,00	0,00
	B93	0.4765	0.9580	-3	+3	0,00	0,00
	B94	0.4634	0.9888	-3	+3	0,00	0,00
	B95	0.4602	0.9909	-3	+3	0,00	0,00
Velocitat mitjana total:							1,55

5.1.2.2.3 Subimatges C

	Frame	Correlació C60	Correlació C anterior	Posició respecte C60		Desplaçament i velocitat	
				Nº files	Nº columnes	Desplaçament (píxels)	Velocitat (píxels/segon)
Imatge inicial (frame 60)	C72	0.4959	0.9409	-2	+2	0,00	0,00
	C73	0.5406	0.9362	-2	+2	0,00	0,00
	C83	0.3991	0.9657	-2	+2	0,00	0,00
	C84	0.4033	0.9517	-2	+2	0,00	0,00
	C85	0.4042	0.9741	-2	+2	0,00	0,00
	C86	0.4278	0.9623	-2	+2	0,00	0,00
	C87	0.4008	0.9524	-2	+2	0,00	0,00
	C88	0.3813	0.9755	-2	+2	0,00	0,00
	C89	0.3759	0.9592	-2	+2	0,00	0,00
	C90	0.3958	0.9682	-2	+2	0,00	0,00
	C91	0.4315	0.9676	-2	+2	0,00	0,00
	C92	0.4037	0.9725	-2	+2	0,00	0,00
	C93	0.3882	0.9646	-2	+2	0,00	0,00
	C94	0.3841	0.9862	-2	+2	0,00	0,00
	C95	0.3776	0.9896	-2	+2	0,00	0,00
Velocitat final mitjana							1,14